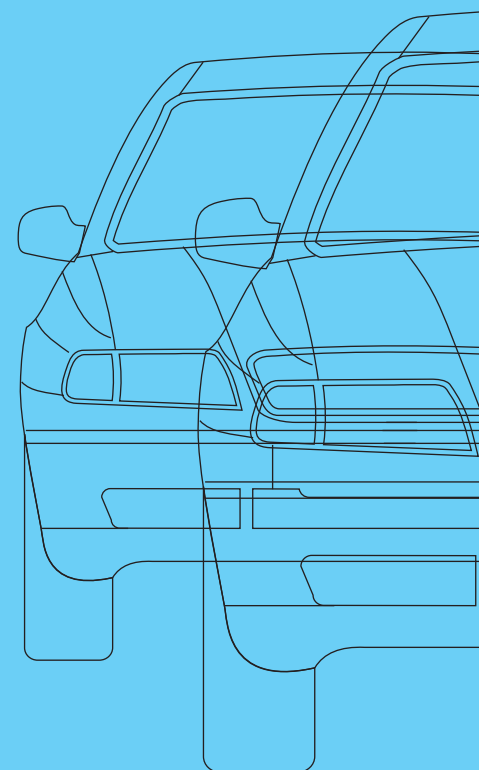




Thomas Langrock
Rudolf Petersen
Karl Otto Schallaböck

Bedeutung der klimawirksamen Emissionen des PKW-Verkehrs

und Bewertung
von Minderungs-
strategien



Bedeutung der klimawirksamen Emissionen des PKW-Verkehrs und Bewertung von Minderungsstrategien

Thomas Langrock

Rudolf Petersen

Karl Otto Schallaböck

Inhalt

4	Vorwort
6	Einleitung
7	Das Klimaproblem und der Versuch, es durch Verhandlungen zu lösen
7	Der Anstieg der Konzentrationen bestimmter Spurengase
9	Der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur
10	Die Theorie vom Treibhauseffekt
13	Verpflichtungen zum Klimaschutz
18	Emissionssituation in der EU und in Deutschland und Bedeutung des Verkehrssektors
21	Deutsche Klimaschutzstrategie unter besonderer Berücksichtigung des Verkehrs
23	Übersicht über die klimarelevanten Verkehrsemissionen in Deutschland
25	Bisherige Entwicklung des PKW-Verkehrs in Deutschland
27	Künftige Entwicklung des PKW-Verkehrs in Deutschland
34	Einordnung unter Klimaschutz Gesichtspunkten
37	Schlussfolgerungen und Handlungsbedarfe
40	Minderungsansätze für Kohlendioxidemissionen im PKW-Sektor
40	Interessenlage der Akteure und Konsequenzen für die Maßnahmenentwicklung
41	Sektorale und sektorübergreifende Maßnahmenstrategien
43	Instrumente
44	Handelbare Zertifikate
46	Konsequenzen der Maßnahmenstrategien für den PKW-Markt
50	Schlussbetrachtung
53	Literatur
55	Anmerkungen

Vorwort

Die vorliegende Studie entstand im Auftrag der Porsche AG am Wuppertal Institut. Aufgaben waren zum einen die Charakterisierung der klimapolitischen Situation und die Quantifizierung des Beitrages des PKW-Verkehrs zu den Treibhausemissionen. Des Weiteren sollten Maßnahmen zur Reduzierung der spezifischen CO₂-Emissionen der PKW diskutiert und hinsichtlich ihrer Eignung bewertet werden.

Nach Abschluss dieser Studie hat sich im Jahr 2001 die politische Landschaft im Politikfeld Klimaschutz gründlich gewandelt: Auf den Klimakonferenzen in Bonn und Marrakesch (Marokko) gelang es, Verhandlungserfolge in den Fragen zu erzielen, die noch in Den Haag zum Scheitern der Konferenz geführt hatten. Das Kyoto-Protokoll ist nun durch die Annahme von Richtlinien zu seiner Ausgestaltung so weit verhandelt, dass es durch die Staaten ratifiziert werden kann. Da fast alle Industriestaaten, außer den USA, das Kyoto-Protokoll ratifizieren wollen, ist nun davon auszugehen, dass das Protokoll im Jahr 2002 rechtlich verbindlich in Kraft treten wird.

Um die im Kyoto-Protokoll vorgesehenen Beschränkungen der Emissionen von Treibhausgasen auch tatsächlich einzuhalten, werden von den Vertragsparteien umfangreiche Klimaschutzprogramme umgesetzt. Für alle Mitgliedsstaaten der Europäischen Union ist das maßgebliche Programm hierbei das europäische Klimaschutzprogramm. Der Kern dieses Programms ist neben vielen einzelnen Maßnahmen die vorgeschlagene Richtlinie zum EU-weiten Emissionshandel. In dieser Richtlinie ist vorgesehen, vorerst nur in ausgewählten Sektoren der Volkswirtschaften der EU-Mitgliedsstaaten einen verbindlichen Handel für Kohlendioxidemissionen einzuführen. Später könnte dieses Instrument auch auf den Verkehrssektor ausgedehnt werden. Insgesamt hat die Europäische Union in Kyoto eine Reduktionsverpflichtung von 8 Prozent, gemessen am Emissionsniveau 2008 bis 2012 im Vergleich zu 1990, übernommen, der weitere Aufteilungsschritt in Manchester im Jahre 1998 resultierte in einer Minderungsverpflichtung Deutschlands im Umfang von 21 Prozent im genannten Zeitraum.

Schon zuvor waren in Deutschland schärfere Zielvorgaben formuliert worden, die auf den Empfehlungen der beiden Klima-Enquete-Kommissionen des Deutschen Bundestages fußen, die Minderungen der CO₂-Emissionen um 30 Prozent bis 2005 und um 50 Prozent bis 2020 im Vergleich zu 1987 vorgesehen haben. Mit Bezug darauf hat die Bundesregierung bei der Klimakonferenz in Berlin 1995 eine Selbstverpflichtung ausgesprochen, gemessen am Stand von 1990 eine Senkung um 25 Prozent bis 2005 zu erreichen, dieses Ziel ist auch nach dem Regierungswechsel 1998 bestätigt worden.

Der Verkehrsbereich steht seit etwa zehn Jahren mit im Mittelpunkt öffentlicher Diskussionen im Kontext des Klimawandels. Zwar steht der Verkehrssektor nicht, gemessen am CO₂-Beitrag, an der Spitze der Verursachersektoren, trägt jedoch im Umfang von ca. 20 Prozent nennenswert zu den deutschen Emissionen bei. Zudem weist der Verkehr in Deutschland – wie auch weltweit – eine hohe Anstiegsdynamik auf.

Innerhalb des Verkehrssektors machen die CO₂-Emissionen der PKW den höchsten Anteil aus, gefolgt vom LKW-Verkehr und vom Luftverkehr; dies rechtfertigte bereits in den vergangenen Jahren politische Initiativen zur Verbrauchssenkung, zum Beispiel in Form freiwilliger Vereinbarungen zwischen Bundesregierung und Automobilindustrie, ähnliche Vereinbarungen wurden im EU-Rahmen abgeschlossen. Der Anstieg der CO₂-Emissionen aus dem PKW-Verkehr ist mittlerweile weitgehend zum Stillstand gekommen, wohingegen die Emissionszuwächse im LKW-Verkehr und im Luftverkehr ungebrems sind. Die treibenden Kräfte der CO₂-Emissionen aus diesen beiden Subsektoren sind der steigende Transportaufwand im Straßengüterverkehr und die hohen Wachstumsraten bei Fernflügen.

Wirksame Ansätze zur Dämpfung der Emissionszuwächse im LKW- und Luftverkehr fehlen bisher, so dass trotz der gegenwärtigen Stabilisierung der PKW-Emissionen und der im Trend zu erwartenden Abnahme der CO₂-Gesamt mengen aus PPW die Emissionsbilanz des Verkehrssektors insgesamt sich ungünstig entwickelt. Zu den von Deutschland eingegangenen Minderungsverpflichtungen trägt der Verkehr nicht nur nichts bei, er verschlechtert sogar die Emissionssituation und erfordert daher zusätzliche Minderungsleistungen in anderen Sektoren. Wie dargestellt, sind die treibenden Kräfte für diese unerfreuliche Entwicklung der LKW- und der Luftverkehr. Auch wenn die PKW-Emissionen sich demgegenüber günstiger entwickeln, verfehlen diese Verursacher gleichwohl, proportionale Minderungsbeiträge zum Gesamtziel zu leisten.

In dem vorstehend skizzierten Problemfeld bewegen sich die aktuellen politischen Diskussionen über zukünftige Maßnahmen zur CO₂-Absenkung im Verkehr. Kurz- bis mittelfristig wächst der Handlungsdruck auf die Bundesregierung, die Zielvorstellungen 2005 und 2008 bis 2012 zu erreichen. In dieser Situation werden auch dem Verkehrssektor verstärkte Minderungsanstrengungen abverlangt werden. Dabei müssen vor allem der LKW- und der Flugverkehr im Mittelpunkt stehen, gleichwohl dürften auch für PKW zusätzliche Initiativen diskutiert werden.

Grundsätzlich liegen die Handlungsmöglichkeiten der Politik auf nationaler wie auf EU-Ebene in einer Weiterentwicklung fiskalischer Strategien wie der Ökosteuer einerseits und in ordnungsrechtlichen Vorgaben für den zulässigen Kraftstoffverbrauch bzw. die spezifischen CO₂-Emissionen andererseits. Beide Strategien haben ihre Vor- und Nachteile im Bezug auf Zielerreichung, Implementierbarkeit im gegebenen politischen Umfeld und volkswirtschaftliche Auswirkungen. Einige als wesentlich erachtete Aspekte sind in der vorliegenden Studie mit Blick auf den Subsektor PKW-Verkehr diskutiert worden, dabei zeichnete sich als besonderes Problem die Wirtschaftsverträglichkeit ordnungsrechtlicher Maßnahmen vor dem Hintergrund des Umstandes ab, dass es Hersteller mit sehr unterschiedlichen Produktspektren gibt. Eine Anwendung von Flottenverbrauchs-Grenzwerten nach dem Beispiel der USA würde Hersteller benachteiligen, die vor allem große PKW und Sportwagen mit gegenüber dem Flottendurchschnitt höherem Kraftstoffverbrauch anbieten. In der Arbeit wird ein Konzept formuliert, mit welchem unsymmetrische Belastungen vermieden werden können. Aus volkswirtschaftlicher Sicht können CO₂-Minderungen am kostengünstigsten durch das Instrument des Emissionshandels realisiert werden; die CO₂-Minderungen werden dann in den Sektoren und bei den Betrieben realisiert, wo dies zu geringsten Kosten möglich ist. Da bei der Aufgabe Klimaschutz es irrelevant ist, von welchen Sektoren die Minderungsbeiträge erbracht werden, könnten so die Zielverfehlungen des Verkehrssektors kostenoptimal kompensiert werden. Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass das Instrument Emissionshandel noch weiterer konzeptioneller Durcharbeitung bedarf.

Einleitung

„Das Klimageschäft ist geplatzt“ – so eröffnete der Kommentator auf der ersten Seite der Frankfurter Allgemeinen Zeitung vom 27.11.00 seinen Leitartikel über das Ergebnis der sechsten Konferenz der Vertragsparteien der Klimarahmenkonvention (COP6), veranstaltet in Den Haag im November 2000 (SCHÄFERS 2000).

Offensichtlich hat man in Den Haag nicht das Ergebnis erreicht, das sich die Diplomaten und viele Beobachter der Konferenz versprochen hatten. Genau genommen gibt es vorerst überhaupt kein Ergebnis. Die Konferenz ist offiziell unterbrochen, der Verhandlungsleiter wurde von den Vertragsparteien beauftragt, bis zur Wiederaufnahme der Verhandlungen einen neuen Entwurf des Vertragstextes zu erarbeiten. Voraussichtlich Mitte des Jahres 2001 werden sich die Vertragsparteien erneut treffen, um den völkerrechtlichen Rahmen zum Klimaschutz weiterzuentwickeln.

In dieser Arbeit sollen die Bedeutung des PKW-Verkehrs für die Klimaemissionen und geeignete Minderungsstrategien zum Klimaschutz erörtert werden. Bei der Diskussion der möglichen politischen Interventionen sind nicht nur deren Effizienz im Hinblick auf die Minderungsziele, sondern auch deren Vertretbarkeit und Ausgewogenheit im Hinblick auf die besondere Produktpalette der Firma Porsche zu berücksichtigen, die sich von Massenherstellern unterscheidet. Ein wichtiger Aspekt ist dabei der Grundsatz der Nicht-Diskriminierung, d.h. die ausgewogene Verteilung von Minderungsbeiträgen und die wirtschaftliche Verträglichkeit der Interventionen.

Die auf eine Emissionsminderung im PKW-Bereich zielenden Instrumente und Maßnahmen werden sich in den größeren Rahmen einer deutschen Klimaschutzstrategie einfügen müssen, wobei die deutsche Strategie wiederum von der europäischen Strategie als auch von den völkerrechtlichen Verpflichtungen Deutschlands gegenüber den anderen Vertragsparteien der Klimarahmenkonvention bestimmt wird. Diese drei Politikebenen – internationale Klimaverhandlungen, EU-Strategie und Klimaschutzstrategie in Deutschland – geben die natürliche Gliederung dieser Arbeit vor.

Im ersten Teil jedoch werden die naturwissenschaftlichen Grundlagen vorgestellt, welche notwendig sind, um den Klimawandel als solchen aber auch die Struktur der internationalen Verhandlungen zu verstehen. Mit dieser Darstellung wird versucht, die der Hypothese vom Klimawandel unterliegenden Hauptlinien der Argumentation nachzuvollziehen. Es steht jedoch außer Frage, dass eine derartige Darstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben darf. Unmittelbar nach der naturwissenschaftlichen Einführung erfolgt die Darstellung der internationalen Verhandlungen. Mit einem Ausblick auf die Aussichten des Verhandlungsprozesses endet der erste Teil.

Der zweite Teil beleuchtet die Emissionssituation hinsichtlich der Klimagase für die EU und für Deutschland etwas näher und ordnet den Verkehr hier ein.

Der dritte Teil analysiert für Deutschland Entwicklungen und Aussichten des Verkehrs, insbesondere des PKW-Verkehrs, und der damit verbundenen Klimabelastungen.

Im vierten Teil werden dann Minderungsansätze für die klimawirksamen Emissionen aus dem PKW-Verkehr entwickelt und diskutiert, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit eine Beschränkung auf die im vorliegenden Kontext wesentlichen CO₂-Emissionen erfolgt. Eine Schlussbetrachtung hebt die für die Firma Porsche wichtigen Aspekte möglicher Minderungsstrategien hervor.

Das Klimaproblem und der Versuch, es durch Verhandlungen zu lösen

Ungezählte Naturwissenschaftler sind damit beschäftigt, das Klima und damit auch den vermuteten Klimawandel zu verstehen. Wie in jedem wissenschaftlichen Sachgebiet gibt es widerstrebende Meinungen, Theorien und nicht zu erklärende Beobachtungen. Um dennoch aus dem Dickicht der Veröffentlichungen nutzbare Ergebnisse für die Politikgestaltung herauszufiltern, gründeten die World Meteorological Organization (WMO) und das United Nations Environment Programme (UNEP) 1988 den IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change). Daher werden sich die Autoren in den folgenden drei Kapiteln, in denen die Hypothese vom Klimawandel, seine Wirkung und seine Ursachen beschrieben werden, meist auf Berichte des IPCC beziehen. Die naturwissenschaftliche Ausgewogenheit dieser Berichte wird durch ein weitreichendes Review-System erreicht (vgl. z.B. AGRAWALA 1997). Die vom IPCC präsentierten Behauptungen stellen also die mehrheitliche Meinung der Klimaforscher dar. Selbstverständlich gibt es auch Kritiker des IPCC, deren Einwände die Autoren an den geeigneten Stellen in diese Arbeit einfließen lassen.

Als logische Abfolge erscheint es den Autoren sinnvoll, zuerst die Gründe für die veränderte Zusammensetzung der Atmosphäre darzulegen, dann empirische Befunde über den Klimawandel vorzustellen und erst danach die Theorie des Treibhauseffektes zu diskutieren.

Einschränkend sei erwähnt, dass im Klimasystem, im Gegensatz zu rein mechanischen Systemen, Ursache und Wirkung nicht linear verbunden sind. Zahlreiche Rückkopplungseffekte und Interdependenzen bedingen daher auch in der folgenden (linearen) Textform Querverweise.

1 Der Anstieg der Konzentrationen bestimmter Spurengase

Traditionell wird der Beginn der Industrialisierung am Anfang des 19. Jahrhunderts in England als der Beginn einer neuen Wirtschaftsweise angesehen. Diese unterscheidet sich von den vorherigen Epochen nicht nur durch neue soziale Formen, sondern auch durch die Nutzung anderer Primärenergieträger – mit der Industrialisierung begann der Einstieg in die massive Nutzung fossiler Brennstoffe. Später, mit dem Aufkommen der modernen Chemieindustrie, entwickelte die Menschheit sogar Substanzen, die in ihrer chemischen Zusammensetzung keine natürlichen Entsprechungen haben. Dies ist nicht folgenlos geblieben, wie in [Tabelle 1](#) dargestellt ist.

Gas	Vorindustrielle Konzentration	Derzeitige Konzentration (1994)	Veränderung gegenüber der vorindustriellen Konzentration
CO ₂	280 ppmv	358 ppmv	+ 30 %
CH ₄	700 ppbv	1721 ppbv	+ 150 %
N ₂ O	275 ppbv	311 ppbv	+ 15 %
HCFC-22	0	110 pptv	–
HFC-23	0	n.b.	–
CF ₄	0	70 pptv	–
SF ₆	0	3-4 pptv	–

Tabelle 1: Konzentrationen ausgewählter Treibhausgase (IPCC 1996: 15).

ppmv = parts per million by volume,

ppbv = parts per billion by volume,

pptv = parts per trillion by volume,

n.b. = nicht bekannt

Demzufolge ist empirisch erwiesen, dass sich in der Atmosphäre neue Spurengase angereichert haben und dass sich die Konzentrationen bestimmter natürlich auftretender Spurengase (CO_2 , CH_4 , N_2O) deutlich erhöht haben.

Wie in jedem anderen biogeochemischen System ist die Konzentration eines Spurengases Ausdruck eines Fließgleichgewichtes zwischen verschiedenen Komponenten des Systems „Erde“. Vereinfachend sei dies am Beispiel des Kohlenstoffzyklus² beschrieben: Zwischen der Atmosphäre, den Ozeanen, den Sedimenten und den Landökosystemen werden gewaltige Mengen kohlenstoffhaltiger Verbindungen ausgetauscht. Zwei dieser Typen von Strömen sind für die Konzentration der Spurengase in der Atmosphäre von besonderer Bedeutung: Als *Senken* definiert man alle die Ströme, die der Atmosphäre kohlenstoffhaltige Verbindungen entziehen. So entnehmen zum Beispiel wachsende Pflanzen der Atmosphäre Kohlendioxid. *Quellen* werden alle diejenigen Ströme genannt, die zu einem Eintrag kohlenstoffhaltiger Verbindungen in die Atmosphäre führen³. Vereinfachend gilt, dass die Konzentration der kohlenstoffhaltigen Spurengase CO_2 und CH_4 ansteigt, wenn die Quellen die Senken betragsmäßig übersteigen, gleichen sich beide aus, bleibt die Konzentration konstant und übersteigen die Senken die Quellen, so sinkt sie.

In der Sprechweise der Klimaforscher entspricht die veränderte Wirtschaftsweise der Menschheit seit Beginn der Industrialisierung dem vermehrten Auftreten *anthropogener*, also vom Menschen verursachter, Quellen. Zwei solche Quellen sind von herausragender Bedeutung: Indem der Mensch fossile Brennstoffe verbrennt, überführt er gespeicherten Kohlenstoff in Kohlendioxid. Aber auch indem er Waldflächen rodet, reduziert der Mensch die Biomasse und führt sie unter anderem in Kohlendioxid über. Zur Illustration der Größenordnungen seien die folgenden Zahlen genannt, die jeweils das Gewicht des Kohlenstoffes in den verschiedenen chemischen Verbindungen angeben, der in der betreffenden Komponente des Kohlenstoffzyklus enthalten ist. Der bei weitem größte Kohlenstoffspeicher sind die Sedimente: 60.000.000 Gt C sind im Karbonatgestein enthalten (HÄGER et al. 1998: 43). In der Größenordnung schon deutlich geringer folgen als zweitgrößter Kohlenstoffspeicher die Ozeane. Sie speichern geschätzte 38 500 Gt C (IPCC 1996: 77). Den Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre schätzt man auf 750 Gt C (IPCC 1996: 77). Diese Größen müssen im Verhältnis zu den Quellen und Senken gesehen werden. Bedeutende natürliche Quellen und Senken sind a) der Austausch zwischen den Ozeanen und der Atmosphäre [jeweils Quellen und Senken in vergleichbarer Größenordnung, geschätzt zwischen 90–92 Gt C pro Jahr (IPCC 1996:77)] und b) der Austausch zwischen den Landökosystemen und der Atmosphäre [jeweils Quellen und Senken in vergleichbarer Größenordnung, geschätzt 60 Gt C pro Jahr (IPCC 1996: 77)]. Im Vergleich dazu erscheinen die *direkten* anthropogenen Quellen relativ klein. So schätzt man die Gesamtemissionen aufgrund des Verbrauchs fossiler Brennstoffe auf rund 6 Gt C pro Jahr und die Emissionen aufgrund der Rodung, derzeit hauptsächlich des tropischen Regenwaldes und der borealen Wälder Nordamerikas, auf ungefähr 0,6–2,6 Gt C pro Jahr. Für bestimmte menschengemachte chemische Verbindungen, also zum Beispiel halogenierte und teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe, bestehen keine natürliche Quellen.

Im vorhergehenden Absatz wurde von direkten anthropogenen Quellen gesprochen. Dies impliziert die Existenz indirekter anthropogener Quellen bzw. Senken. Solche indirekten Quellen entstehen durch Rückkoppelungseffekte. So vermutet man zum Beispiel aufgrund des höheren CO_2 -Gehalts der Atmosphäre einen Rückkoppelungseffekt auf das Wachstum der Biomasse in den Landökosystemen und auf das Lösungsgleichgewicht von CO_2 in den Ozeanen. Das vermehrte Pflanzenwachstum und die erhöhte CO_2 -Aufnahme der Ozeane sind also indirekte anthropogene Senken. Darüber hinaus, so vermutet man, könnten durch die Erderwärmung indirekte anthropogene Quellen entstehen: Hier sei als prominentestes Beispiel der mögliche Methanaustritt aus den (noch gefrorenen) Dauerfrostböden Sibiriens genannt.

Aus offensichtlichen Gründen basieren alle genannten Daten sowohl über den Umfang der Kohlenstoffspeicher als auch über die Beträge der Quellen und Senken auf Hochrechnungen, d.h. sie sind nicht messbar im eigentlichen Sinn. Besonders die indirekten Senken und Quellen werden derzeit intensiv untersucht. Das betrifft zum einen das Ausmaß des vermehrten Wachstums der Biomasse, als auch die Frage nach der Aufnahmefähigkeit der Ozeane. Der Kohlenstoffzyklus, dies geben auch Naturwissenschaftler zu, ist also noch nicht bis ins Detail verstanden. Skeptiker der Hypothese vom Klimawandel kritisieren diese Unsicherheit und verweisen etwa darauf, dass die Pufferfunktion der Ozeane in den Modellen des IPCC zu gering angesetzt sei (SEGELSTAD 1996: 41).

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass sich die Zusammensetzung der Atmosphäre im Vergleich zur vorindustriellen Zeit signifikant verändert hat. Trotz bestehender Unsicherheiten bei der Quantifizierung der Senken und Quellen einzelner Spurengase scheint zumindest für CO₂ und die teil- und vollhalogenierten Kohlenwasserstoffe bewiesen zu sein, dass die Quellen die Senken überwiegen, also die Konzentrationen ansteigen.

2 Der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts gibt es relativ verlässliche Aufzeichnungen der Jahresdurchschnittstemperaturen an verschiedenen Orten der Welt, so dass es möglich ist, für diese Jahre eine globale Jahresdurchschnittstemperatur zu konstruieren. Diese ist in den letzten zwei Jahrzehnten angestiegen (Abb. 1).

Die Durchschnittstemperatur des Jahres 1998 betrug 0,59 °C mehr als die gemittelte Referenztemperatur der Jahre 1961–1990⁴. Als weiterer Beleg für die Hypothese, nach der die Erde sich erwärmt, könnte die Tatsache gelten, dass die neunziger Jahre sieben der zehn wärmsten Jahre seit 1860 verzeichneten.

Aus diesen Zahlen einen Trend herauszulesen, ist nicht unumstritten, denn das Klima wird durch viele verschiedene Klimaelemente gekennzeichnet. Von Kritikern der Hypothese des Klimawandels wird zum Beispiel eingewandt, man könne nicht sinnvoll von einer globalen Jahresdurchschnittstemperatur sprechen und folglich auch keinen veränderten Trend aus diesem Klimaelement herauslesen (CORBYN/GOLIPOUR 1996). Die

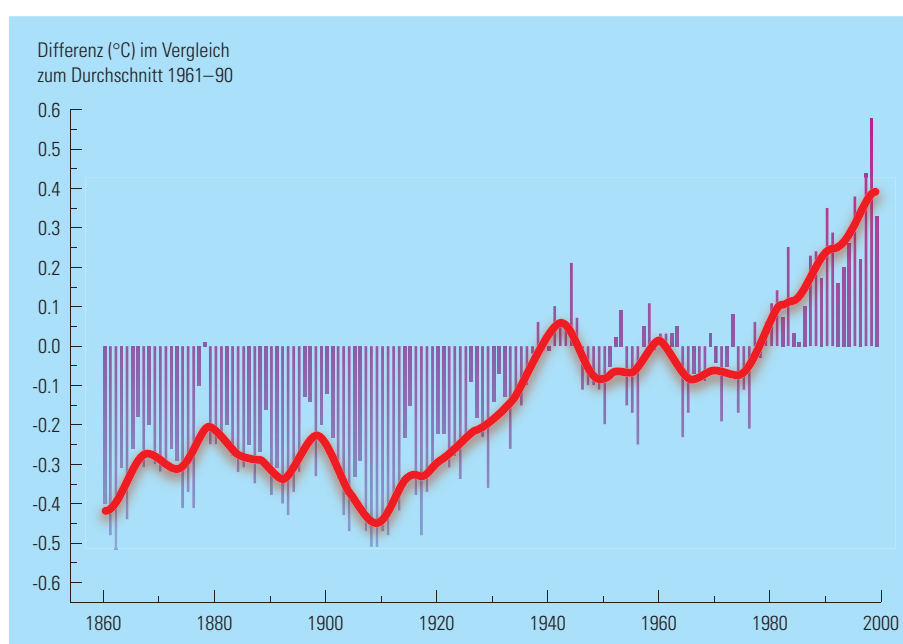


Abb. 1

Globale durchschnittliche oberflächennahe Temperaturen; jährliche Abweichungen 1860 bis 2000; die rote Kurve zeigt den Trend. Quelle: Hadley Centre (2000)

Befürworter der Hypothese vom Klimawandel halten dem entgegen, Aufzeichnungen verschiedener Mikroklimata, weiterer Klimatelemente und der Häufigkeiten von Naturkatastrophen zeigten einen deutlichen Trend, der die Hypothese vom Klimawandel empirisch belegt. Für den IPCC ist die Hypothese vom Klimawandel innerhalb der letzten einhundert Jahre belegt (IPCC 1996: 141 ff., WATSON 2000, IPCC 2001).

3 Die Theorie vom anthropogenen Treibhauseffekt

Die Hypothese vom anthropogenen Treibhauseffekt lautet, die Erde erwärme sich auf Grund der gestiegenen Konzentrationen in der Atmosphäre der in Tabelle 1 aufgelisteten und anderer Gase. Diese Hypothese verbindet also die Hypothesen, dass a) die Konzentrationen bestimmter Spurengase in der Atmosphäre durch menschliche Aktivitäten ansteigen und b) bestimmte Trends der Entwicklung ausgewählter Klimatelemente auf einen nicht in der natürlichen Schwankungsbreite liegenden Klimawandel, konkret die globale Erwärmung, hinweisen. Diese Hypothese ist der Ausgangspunkt für die gängige Theorie vom Treibhauseffekt.

Diese Theorie, welche auch vom IPCC vertreten wird, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht vollständig dargestellt werden. Zur Begriffsklärung und zum besseren Verständnis der Regelungen im Kyoto-Protokoll soll jedoch versucht werden, die Theorie in vier Stufen plausibel darzulegen.

Als erstes denke man sich die Erde ohne die Atmosphäre und betrachte das System Sonne – Erde. Beide Körper geben elektromagnetische Strahlung ab, wobei die Energieintensität dieser Strahlung je nach Wellenlänge variiert. Um die Strahlung zu charakterisieren, benutzt man die Verteilungsfunktion der Energieintensität. Diese Verteilungsfunktion ist wiederum nach dem Planckschen Gesetz von der Temperatur des strahlenden Himmelskörpers abhängig. Da sich die mittleren Oberflächentemperaturen der Erde und der Sonne deutlich voneinander unterscheiden (einmal ca. 6000 K, einmal 288 K) unterscheiden sich die Strahlungen in der Wellenlänge beträchtlich: Die Sonne sendet Strahlung aus, deren maximale Energieintensität im kurzwelligen Bereich liegt, während die Strahlung der Erde durch eine maximale Energieintensität im infraroten Bereich gekennzeichnet ist. Man verwendet, um den Unterschied zu markieren, für diese Strahlungen unterschiedliche Begriffe, die Strahlung der Sonne heißt solar, die der Erde terrestrisch. Körper, die einer Strahlung ausgesetzt sind, können diese in Abhängigkeit von ihrer Oberflächenbeschaffenheit absorbieren, sie nehmen also Energie auf und erwärmen sich folglich.

Hätte die Erde keine Atmosphäre, so wäre die Oberflächentemperatur vollständig durch die Absorption der solaren Strahlung an der Erdoberfläche und die Vorgänge im Erdinneren bestimmt, die infrarote Strahlung der Erde wiederum würde auf die anderen Himmelskörper wirken. Diese Konstellation existiert natürlich nur als Gedankenexperiment.

Daher soll im zweiten Schritt untersucht werden, was sich am Gedankenexperiment ändert, wenn man die Atmosphäre in die Betrachtung einbezieht. Offensichtlich ist die Absorption der solaren Strahlung nun nicht mehr nur durch die Oberflächenbeschaffenheit der Erde, sondern auch durch die Atmosphäre bestimmt. Diese absorbiert solare Strahlung und streut sie, wobei ein Teil dieser Streustrahlung direkt wieder in den Weltraum geht. Bei diesem Phänomen ist besonders die Rolle des Wasserdampfes und der Wolken hervorzuheben. Unter allen absorbierenden Gasen in der Atmosphäre absorbiert Wasserdampf den größten Teil der solaren Strahlung, Wolken tragen wesentlich zur Streuung bei. Kurz, nur ein Teil der solaren Strahlung, ungefähr die Hälfte, erreicht die Erdoberfläche.

Aber auch die terrestrische Strahlung der Erde erreicht den Weltraum nicht mehr im vollen Umfang. Wiederum durch den Wasserdampf in der Atmosphäre, aber auch durch Kohlendioxid, Methan und Lachgas, wird terrestrische Strahlung absorbiert, das heißt, Energie wird von der Erdoberfläche auf die Atmosphäre übertragen, umgekehrt strahlt auch die Atmosphäre terrestrische Strahlung aus, welche von der Erde absorbiert wird (die sogenannte Gegenstrahlung).

Bis jetzt wurden nur Energieströme zwischen der Erde, der Sonne und der Erdatmosphäre betrachtet, doch diesen Energieströmen entsprechen im thermischen Gleichgewicht bestimmte Werte der folgenden Zustandsgrößen: Oberflächentemperatur der Erde, Oberflächentemperatur der Sonne und Temperatur der Erdatmosphäre. Das beschriebene Zusammenspiel der Komponenten Sonne, Erde, Atmosphäre und Weltraum heißt *natürlicher* Treibhauseffekt. In ihm spielt Wasserdampf eine maßgebliche Rolle, deren Würdigung jedoch nur geschehen kann, wenn man ein weiteres Gedankenexperiment anstellt, in dem im System Erde/Atmosphäre die Absorption der terrestrischen Strahlung durch die Atmosphäre weggedacht wird (ROEDEL 1997: 40).

Im dritten Schritt wird betrachtet, wie sich die Energieströme im System Sonne, Erde, Atmosphäre und Weltraum durch den anthropogenen Eintrag von Spurengasen in die Atmosphäre (vgl. Kapitel 1.1) verändern. Vereinfachend gilt, dass sie die Absorptionseigenschaften der Atmosphäre verändern, es wird also mehr Energie von der Erde in die Atmosphäre übertragen, und umgekehrt erhöht sich die Gegenstrahlung von der Atmosphäre auf die Erde. Dieser Änderung der Energieflüsse entspricht eine Änderung der Zustandsgrößen. Konkret steigen die Oberflächentemperatur der Erde und die Temperatur der bodennahen Atmosphäre (Troposphäre). Dieser Effekt wird als *anthropogener* Treibhauseffekt bezeichnet. Er wird per Definition ausschließlich durch den zusätzlichen Eintrag von Treibhausgasen in die Atmosphäre verursacht.

Im vierten Schritt müssen zahlreiche Rückkoppelungseffekte aufgrund der erhöhten Oberflächentemperatur der Erde betrachtet werden. Von besonderer Bedeutung sind hier unter anderem die steigende Verdunstung und damit der erhöhte Anteil von Wasserdampf, wie auch der steigende Bewölkungsgrad. Wie oben erwähnt, bestimmen sowohl die Bewölkung als auch der Anteil des Wasserdampfes die Absorptionseigenschaften der Atmosphäre entscheidend, und zwar der solaren wie auch der terrestrischen Strahlung. Andere solcher Rückkoppelungseffekte betreffen die Oberflächenbeschaffenheit der Erde, zum Beispiel vermindert das Abtauen der Gletscher und der Polkappen das Rückstreuvermögen der Erde für solare Strahlung (ROEDEL 1997: 19).

Es muss nochmals betont werden, dass die gewählte Darstellung der Theorie des Treibhauseffektes nur zur Begriffsklärung und zur ungefähren Einordnung der politischen Entscheidungen dienen soll. So konnte die Rolle bestimmter Bestandteile der Atmosphäre, wie z.B. des Ozons oder der Aerosole überhaupt nicht beschrieben werden. Auch ist es im Rahmen dieser Arbeit unmöglich, die Bedeutung verschiedener Rückkoppelungseffekte zu gewichten. Damit können bestehende Einwände von Kritikern der Theorie vom Treibhauseffekt nicht korrekt eingeordnet werden. Diese Einwände betreffen zum Beispiel die Modellierung der Wolken in den Klimamodellen des IPCC. Auch auf die Varianz der Sonnenstrahlung wird von Kritikern verwiesen (NIKOLSKY 1996).

Wie oben dargestellt, ist der anthropogene Treibhauseffekt verursacht durch den zusätzlichen Eintrag bestimmter Treibhausgase in die Atmosphäre. Will man also den anthropogenen Treibhauseffekt und seine Folgen einschränken, so muss die Konzentration dieser Gase wieder reduziert werden. Da jedoch die einzelnen Treibhausgase sehr unterschiedlich wirken, stellt sich zum Beispiel die Frage, ob es sinnvoll sei, den Schwerpunkt einer globalen Minderungsstrategie auf ein bestimmtes Gas zu legen. Um solche Fragen zu beantworten, muss ein Maß gefunden werden, mit dem man die Schädlichkeit einer emittierten Tonne eines Gases A in die Schädlichkeit einer emittierten Tonne des

Gases B umrechnen kann. Die Schädlichkeit jedoch wird durch viele verschiedene Parameter bestimmt, unter anderem durch die Verweilzeit eines Gases in der Atmosphäre, die Absorptionseigenschaften des Gases, mögliche Rückkoppelungseffekte durch chemische Reaktionen und durch die derzeitige Konzentration des jeweiligen Gases. Alle diese Parameter fanden daher Eingang in ein vom IPCC entwickeltes Maß: die Global Warming Potentiale (GWP). [Tabelle 2](#) listet die GWP für einzelne Treibhausgase auf, die auch im Kyoto-Protokoll verwendet werden.

Tabelle 2:
Global Warming Potentiale
(100 Jahre Laufzeit)
einzelner Treibhausgase
(IPCC 1996: 15).

Gas	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HCFC-22	HFC-23	SF ₆	CF ₄
Global Warming Potential	1	21	310	1500	11700	6500	23900

Dieser Tabelle zufolge entspricht die Treibhausgaswirkung von 1 Tonne Methan der von 21 Tonnen Kohlendioxid. Gerade mit Blick auf Tabelle 1 sei der Leser an dieser Stelle vor einem Trugschluss gewarnt. Es wäre falsch, aus der 150-prozentigen Steigerung der Methankonzentration und der viel höheren Treibhausgaswirkung von Methan im Vergleich zu Kohlendioxid zu schlussfolgern, der Treibhauseffekt sei zum größten Teil auf die steigende Methankonzentration zurückzuführen. Zum einen ist selbstverständlich die Gesamtmenge bzw. die Konzentration der einzelnen Gase in Betracht zu ziehen. Darüber hinaus beschreiben die GWP die *zukünftige* Wirkung einer emittierten Tonne Methan, unter Berücksichtigung der bisherigen Emissionsgeschichte, die 150 Prozent Konzentrationssteigerung sind also schon berücksichtigt. Auch ein zweiter Trugschluss muss vermieden werden: Die Global Warming Potentiale taugen nicht zur Abgrenzung des natürlichen vom anthropogenen Treibhauseffekt. So liegt es außerhalb der Logik der Global Warming-Potentiale, nach einem GWP für Wasserdampf, maßgeblich für den natürlichen Treibhauseffekt, zu fragen, denn Wasserdampf trägt zum anthropogenen Treibhauseffekt nur über Rückkoppelungseffekte bei, das heißt die Wasserdampfkonzentration ist in den Klimamodellen eine Funktion der Konzentrationen der vom Menschen emittierten Treibhausgase, nicht jedoch eine Eingangsgröße⁵.

Das Weltklima ist nicht durch ein simples Energieflussmodell, in dem zum Beispiel die Atmosphäre oder die Erde als Ganzes behandelt werden, zu fassen. Dies wird zum Beispiel dadurch deutlich, dass die Sonnenstrahlung je nach Gebiet der Erde variiert. Um diese Komplexität zu erfassen, haben die Klimaforscher mehrdimensionale Weltklimamodelle entwickelt, die versuchen, die räumliche Variation der Determinanten des Weltklimas besser abzubilden. Neben solchen reinen Klimamodellen, die versuchen, die einzelnen Klimafaktoren (Sonnenstrahlung, Land-Meer Verteilung, ...) und deren Zusammenhänge zu modellieren, gibt es Modelle, mit denen der Zusammenhang zwischen Klimawandel und der wirtschaftlichen und demographischen Entwicklung der Menschheit beschrieben werden kann. Solche sogenannten Integrated Assessment Models werden auch vom IPCC intensiv genutzt (vgl. zur Methodik solcher Modelle JANSSEN 1998).

Die Ergebnisse derartiger Modelle kann man in zwei Gruppen einteilen: in positive und normative Szenarien. Hierbei beschreiben positive Szenarien die anthropogene Klimaveränderung, die zu erwarten ist bei einer bestimmten Entwicklung der Menschheit⁶. Den umgekehrten Weg gehen normative Szenarien: Hier legt man Annahmen über Klimaelemente zugrunde und erhält als Ergebnis Angaben, wie sich die Energieintensität, die Treibhausgasemissionen und andere Parameter entwickeln müssten, um die beschriebene Klimasituation herbeizuführen. Normative Szenarien geben also Ziele vor, während positive Szenarien beschreiben, wie es werden wird bei einer bestimmten Ent-

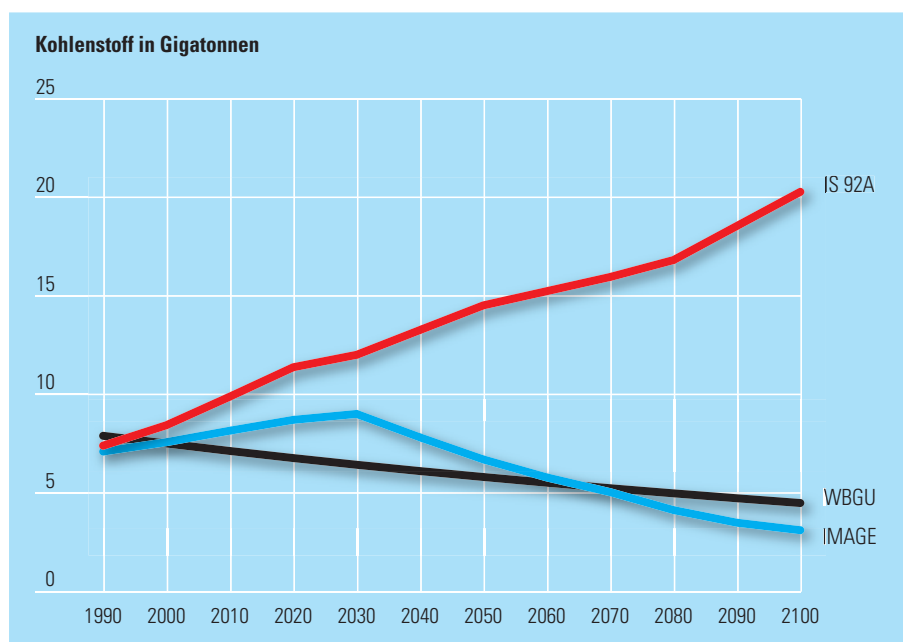


Abb. 2: Globale jährliche CO₂-Emissionen nach verschiedenen Szenarien

wicklung der Menschheit. Das IS92a Szenario des IPCC, ein positives Szenario, basiert auf moderaten Annahmen über z.B. das Bevölkerungswachstum und das Wachstum des weltweiten Bruttosozialproduktes. Trotzdem errechnen die Modellierer des IPCC eine beeindruckende Erhöhung der weltweiten CO₂-Emissionen und damit der CO₂-Konzentration auf 700 ppmv im Jahre 2100 (IPCC 1994). Die anderen zwei Graphen in Abb. 2 veranschaulichen die zulässigen Emissionspfade, die sich ergeben, wenn man bestimmte Werte für ausgewählte Klimatelemente erzielen möchte. Beim Image Graph wird eine Stabilisierung der CO₂-Konzentrationen auf 450 ppmv anvisiert (IMAGE 2000). Im WBGU-Szenario begannen die Modellierer ihre Berechnungen mit der Vorgabe eines zu tolerierenden Fensters. Konkret bedeutet dies, die Modellierer berechneten die zulässigen jährlichen CO₂-Emissionen, so dass die globale Jahresdurchschnittstemperatur pro Jahrzehnt um nicht mehr als 0,2°C ansteigt und lediglich zwischen 9,9°C und 16,6°C variiert (SCHELLNHUBER 1998).

Szenarien sind mit großen Unsicherheiten behaftet, und sie sollten nur bei genauer Betrachtung der Annahmen verwendet werden. Was jedoch aus allen Szenarien abgelesen werden kann, ist, dass eine anthropogene Störung des Klimasystems nur vermieden werden kann, wenn in den nächsten Dekaden wesentliche Veränderungen der Wirtschaftsweise erfolgen⁷. Der letzte Bericht des IPCC über Emissionsszenarien hat dies eindrucksvoll bestätigt (IPCC 2000).

Der IPCC arbeitet derzeit an seinem dritten Sachstandsbericht über den Klimawandel, welcher im Laufe des Jahres 2001 vorgelegt werden soll. Teilergebnisse der Arbeit des IPCC sind jedoch schon auf der sechsten Konferenz der Vertragsparteien vorgelegt worden (WATSON 2000) und sie bestätigen nochmals die Schlussfolgerungen des IPCC in seinem zweiten Sachstandsbericht: „The balance of evidence suggests that there is a discernible human influence on global climate“ (IPCC 1996: 5).

4 Verpflichtungen zum Klimaschutz

Die Hypothese vom Klimawandel und die Theorie vom Treibhauseffekt existieren schon seit mehreren Dekaden, doch erst seit den siebziger Jahren beschäftigen sie die

Entscheidungsträger in verschiedenen internationalen Regierungsorganisationen und später auch in nationalen Behörden. Meilensteine beim Wissenstransfer von der Wissenschaft hin zu den politischen Entscheidungsträgern sind die Erste Weltklimakonferenz 1979 und die Konferenz „The Changing Atmosphere: Implications for Global Security“, veranstaltet 1988 in Toronto. Diese Konferenz in Toronto gilt allgemein als das Ereignis, welches den Klimawandel zum Gegenstand der internationalen Politik werden ließ. Die Konferenz versammelte Wissenschaftler, Politiker und Nichtregierungsvertreter und endete mit einer Schlussdeklaration. Darin wurde den Politikern empfohlen:

- Die globalen CO₂-Emissionen bis 2005 im Vergleich zu 1988 um 20 Prozent zu senken,
- eine völkerrechtliche Konvention auszuhandeln, die den Rahmen für konkrete Protokolle zum Klimaschutz bieten soll und
- einen „Weltatmosphärenfond“ einzurichten (BODANSKY 1994: 49).

Nach dieser Konferenz begannen umfangreiche internationale Verhandlungen, moderiert durch die Vereinten Nationen. Zwei völkerrechtliche Verträge, a) das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen⁸ und b) das Kyoto-Protokoll zum Rahmenübereinkommen sind seitdem ausgehandelt worden. Sie werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

Die Klimarahmenkonvention

182 Staaten verpflichteten sich mit dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen vertraglich, eine „Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen auf einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird“ (UNFCCC, Artikel 2). Folgerichtig verpflichteten sich die Vertragsparteien der Konvention dazu a) Treibhausgasinventare systematisch aufzubauen, b) die Emissionen von Treibhausgasen aus anthropogenen Quellen zu reduzieren und c) den Abbau solcher Gase durch direkte anthropogene Senken zu fördern (UNFCCC, Artikel 4.1).

In gewisser Weise kann man die Rolle der Klimarahmenkonvention im Klimaregime mit der einer Verfassung im Nationalstaat vergleichen: Durch sie werden rechtsetzende Organe (Conference of the Parties, Subsidiary Body for Implementation, Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice) geschaffen und Ausführungsorgane (Global Environment Facility, IPCC) benannt. Weiterhin werden gewisse Grundsätze formuliert, die beim Aushandeln konkreter Vereinbarungen beachtet werden müssen. Die strukturell sicherlich bedeutsamsten Grundsätze der Klimarahmenkonvention betreffen die Differenzierung der Verpflichtungen der Länder entsprechend bestimmter Kategorien:

- Alle Vertragsparteien, die in Annex I⁹ aufgelistet sind, müssen im Klimaschutz vorangehen, d.h. stärkere Anstrengungen zum Klimaschutz unternehmen als die übrigen Staaten (UNFCCC, Artikel 4.2).
- Alle Vertragsparteien, die in Annex II¹⁰ aufgelistet sind, müssen besondere finanzielle Mittel für die übrigen Staaten bereitstellen (UNFCCC, Artikel 4.3).

Genauere Regelungen, dies sieht die Klimakonvention ausdrücklich vor, sollen in Protokollen festgeschrieben werden. Schon auf der ersten Konferenz der Vertragsparteien 1995 in Berlin wurde beschlossen, ein Protokoll auszuhandeln, welches konkrete Minderungsziele, in Zahlen ausgedrückt, fixiert.

Das Kyoto-Protokoll zur Klimarahmenkonvention

Nach nur dreijähriger Verhandlungszeit wurde ein solches Protokoll 1997 in Kyoto paraphiert¹¹. Es setzt den Grundsatz um, nach dem Annex I-Vertragsparteien¹² im

Klimaschutz voranschreiten müssen, indem es Obergrenzen für die Emissionen von Treibhausgasen aus anthropogenen Quellen festlegt. Konkret gelten diese Obergrenzen für alle in Annex A¹³ des Kyoto-Protokolls aufgelisteten anthropogenen Quellen der folgenden Gase:

- Kohlendioxid (CO₂),
- Methan (CH₄),
- Distickstoffoxid (N₂O),
- Schwefelhexafluorid (SF₆)
- die Gruppe der perfluorierten Kohlenwasserstoffe (PFKW) und
- die Gruppe der teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW).

Praktisch berechnen sich die Obergrenzen wie folgt: Die Emissionen einzelner Treibhausgase werden durch Multiplikation mit dem Global Warming Potential in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Der erlaubte Ausstoß von Treibhausgasen in den Jahren 2008 bis 2012 beträgt das Fünffache des Jahresausstoßes 1990, multipliziert mit dem in Annex B¹⁴ eingetragenen Faktor (Kyoto-Protokoll, Artikel 3.1). Dieser Faktor beträgt für alle EU-Staaten 0,92, das heißt, die EU-Staaten müssen ihre Treibhausgasemissionen in den Jahren 2008 bis 2012 um durchschnittlich 8 Prozent gegenüber 1990 drücken.

Die Hauptstoßrichtung des Protokolls ist also die *Reduktion* der Emissionen aus anthropogenen Quellen in den Annex I-Vertragsparteien, wie im letzten Teil des Artikel 3.1 eindrucksvoll bestätigt wird. Dort heißt es, die Vertragsparteien sollen ihre Emissionen aus Quellen reduzieren „(...) with a view to reducing their overall emissions of such gases by at least 5 Prozent (...)“ (Kyoto-Protokoll, Artikel 3.1).

Allerdings wird schon in den darauf folgenden Artikeln 3.3¹⁵ und 3.4¹⁶ des Protokolls die Intention des Artikel 3.1 konterkariert. Denn dort werden bestimmte Maßnahmen im Bereich der anthropogenen Senken genannt, die sich die Vertragsparteien als Beitrag zur Erfüllung ihrer Verpflichtungen unter Artikel 3.1 anrechnen lassen können. Einer der großen Streitpunkte der Konferenz in Den Haag betraf genau die Auswahl dieser Aktivitäten und die Quantifizierung der durch solche Aktivitäten resultierenden Überführung von Treibhausgasen aus der Atmosphäre in Kohlenstoffspeicher abzüglich der durch diese Aktivitäten entstehenden Emissionen aus Quellen. Besonders die EU drängte mit dem Verweis auf die drohende unsystematische Auswahl der Aktivitäten darauf, nur Artikel 3.3 zu benutzen. Damit wären nur solche Aktivitäten, die im Zusammenhang mit der Wiederaufforstung, der Aufforstung und der Entwaldung stehen, in die Berechnung eingeflossen (Kyoto-Protokoll, Artikel 3.3).

In der öffentlichen Wahrnehmung wird das Protokoll vor allem mit den so genannten flexiblen Mechanismen assoziiert. Insgesamt gibt es vier dieser Mechanismen: a) den zwischenstaatlichen Emissionshandel (Kyoto Protokoll, Artikel 17), b) den Bubble-Mechanismus (Kyoto-Protokoll, Artikel 4), c) Joint Implementation (Kyoto-Protokoll, Artikel 6) und d) den Clean Development Mechanism (Kyoto-Protokoll, Artikel 12). Die ersten drei dieser Mechanismen berühren das in Artikel 3.1. formulierte Reduktionsziel nicht; sie sorgen lediglich für eine veränderte Aufteilung der Minderungsquoten zwischen den Annex B-Vertragsparteien.

Unter diesen vier Mechanismen ist der „Bubble“ für Mitgliedstaaten der Europäischen Union von besonderem Stellenwert. Er erlaubt es regionalen ökonomischen Organisationen ihre Verpflichtungen gemeinsam zu erfüllen; es darf also ein Mitgliedstaat der EU einem anderen dabei helfen, seine Verpflichtung zu erfüllen. Auf der 2106. Sitzung des EU-Rates der Umweltminister in Manchester am 17./18. Juni 1998 einigten sich die EU-Staaten auf die EU-interne Verteilung der quantifizierten Verpflichtungen¹⁷, welche in [Tabelle 3](#) aufgelistet ist. Die Reduktionsverpflichtung der einzelnen Staaten wird in diesem Abkommen analog zum Kyoto-Protokoll berechnet. Wie die vereinbarten

Ziele innerhalb der jeweiligen Staaten erreicht werden, ist nicht Gegenstand der Vereinbarung zur internationalen Aufteilung innerhalb der EU. Insbesondere bleiben jedem Staat innerhalb des jeweiligen nationalen Zieles die Aufteilung der Minderungsbeiträge auf die verschiedenen Verursachersektoren (z.B. Verkehr, Industrie, Energieumwandlung) und eventuelle Kompensationen zwischen den Sektoren überlassen. Es gibt in den internationalen Verpflichtungen keine Minderungsziele für einzelne Sektoren.

Tabelle 3:
Quantifizierte Verpflichtungen laut EU Burden Sharing

EU-Mitgliedsstaat	Durchschnittliche Emissionsreduktion in %
Österreich	-13
Belgien	-7,5
Dänemark	-21
Finnland	0
Frankreich	0
Deutschland	-21
Griechenland	+25
Irland	+13
Italien	-6,5
Luxemburg	-28
Niederlande	-6
Portugal	+27
Spanien	+15
Schweden	+4
Großbritannien	-12,5
Gesamt	-8

Ganz anders im Charakter ist der vierte der oben genannten Mechanismen, der Clean Development Mechanism (CDM). Durch den CDM können Klimaschutzprojekte in den Entwicklungsländern als Beitrag zu den Verpflichtungen der Annex I-Vertragsparteien angerechnet werden. Es kommt also zu Anrechnungen von Emissionsminderungen aus Staaten, die nicht im Annex B stehen. Geschähe dies im großen Umfang, könnte es zum Verfehlen des Minderungszieles aus Artikel 3.1 führen.

Dennoch sollte der CDM nicht negativ bewertet werden. Warum? Solche Klimaschutzprojekte haben vielfach eine starke entwicklungspolitische Komponente, und folgerichtig ist der CDM laut Protokoll so zu gestalten, dass CDM-Projekte zur nachhaltigen Entwicklung des Gastlandes beitragen. In Den Haag wurde ein besonderes Augenmerk auf die Regeln für den CDM gelegt. Wie kann man sicherstellen, dass nur solche Projekte als CDM-Projekte zugelassen werden, die sowohl aus klimapolitischer Sicht zweifelsfrei sind als auch zur nachhaltigen Entwicklung des Gastlandes beitragen? So ist es zum Beispiel unter den Vertragsparteien nach wie vor strittig, ob auch Projekte im Bereich der anthropogenen Senken als CDM-Projekte zugelassen werden sollen. In einem vom Verhandlungsleiter Pronk vorgelegten Kompromissvorschlag wurden Senkenprojekte grundsätzlich zugelassen, jedoch nur solche Projekttypen, die auf die Wiederaufforstung oder Aufforstung degradierter Flächen zielen (PRONK 2000).

Dieser Vorschlag sollte jedoch nicht als Vorhersage für die zukünftige Regelung missverstanden werden, denn nach wie vor lehnen die Europäische Union und einige wesentliche Entwicklungsländer (z.B. Brasilien) Senken im CDM ab. Auch verschiedene andere CDM-Projekttypen sind unter klimapolitischen Gesichtspunkten zweifelhaft. Dazu gehören unter anderem Atomkraftwerke und große Stauseen. Klimapolitisch einwandfrei sind dagegen die Projekte, welche die EU auf ihrer Positivliste verzeichnet

(FCCC/SB/2000/Misc.4/Add.2: 19). Dies sind unter anderem Projekte im Bereich erneuerbare Energien und Energieeffizienzprojekte sowohl auf der Verbrauchs- und auf der Angebotsseite. Einige dieser Projekte, wie zum Beispiel Biogasgewinnung und Stromerzeugung aus Biomasse sind, wenn man die spezifischen Vermeidungskosten pro Tonne Kohlendioxid betrachtet, auch im Vergleich zu den umstrittenen Senken-Projekten konkurrenzfähig (LANGROCK et al. 2000).

Abgesehen von den derzeit noch offenen Bewertungsproblemen sind naturgemäß auch die quantitativen Verhältnisse von Bedeutung, wenn man einem der dargestellten Mechanismen näher treten will. Ein Beispiel soll dies veranschaulichen: Die „Prima Klima e.V.“, eine deutsche NGO, betreibt mit der „Fondacion Bosques de la Patagonia“ ein Forstmanagement in Argentinien. Auf einer Teilfläche von 4.376 ha soll dabei eine Unterpflanzung bei einem geschädigten Forst erfolgen; daraus wird nach 50 Jahren durch Kohlenstoffbindung ein kumulierter CO_2 -Effekt von rd. 125 t/ha erwartet. Eine andere Teilfläche von 300 ha soll aufgeforstet werden, woraus nach 50 Jahren ein kumulierter CO_2 -Effekt in Höhe von rd. 440 t/ha erwartet wird (vgl. LANGROCK et al. 2000: 21). In – stark vereinfachender – Durchschnittsbildung kann demnach während der Aufbauphase der Forsten eine Senke im Umfang von rd. 2,5 bis 9 t CO_2 /ha errechnet werden; soweit die Kohlenstoffbindung im Weiteren konstant gehalten wird, kann danach nicht mehr von einer Senke gesprochen werden. Dem kann man z.B. einen PKW als Quelle gegenüberstellen; bei den gegenwärtig üblichen rd. 200 g CO_2 /km und 15.000 Jahreskilometern errechnen sich 3 t CO_2 .

Das Kyoto-Protokoll ist zwar 1997 paraphiert und danach von allen wesentlichen Staaten unterschrieben worden, rechtsgültig ist es jedoch noch nicht. Artikel 25 des Protokolls bestimmt die Hürde, welche überschritten werden muss, damit das Protokoll einen verbindlichen Charakter erhält. Dieser Artikel ist derzeit die Crux der Klimapolitik. So wie er formuliert ist, können Russland und die USA gemeinsam das Protokoll blockieren¹⁸. Bei der innenpolitischen Situation in den USA kann man derzeit nicht mit Sicherheit vorhersagen, wann das Protokoll in Kraft treten wird. Trotzdem muss das Kyoto-Protokoll ernst genommen werden: Viele EU-Mitgliedsstaaten (BRD, Frankreich, UK, NL ...) haben bekräftigt, das Protokoll bis zum Jahre 2002 ratifizieren zu wollen. Auch wäre es sicherlich falsch den USA zu unterstellen, sie wären überhaupt nicht an der Implementierung des Kyoto-Protokolls interessiert.

So wie das Kyoto-Protokoll formuliert ist, kann es nicht umgesetzt werden. Das heißt, an mehreren Stellen müssen Ausführungsbestimmungen präzisiert werden, deren konkrete Ausgestaltung den Charakter des Protokolls zum Teil dramatisch verändern kann. Genau diese Ausführungsbestimmungen zu verabschieden, war das Ziel der sechsten Konferenz der Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention in Den Haag. Auch sollten in Den Haag bestimmte Organe zum Start des CDM auf einer Übergangsbasis eingesetzt werden.

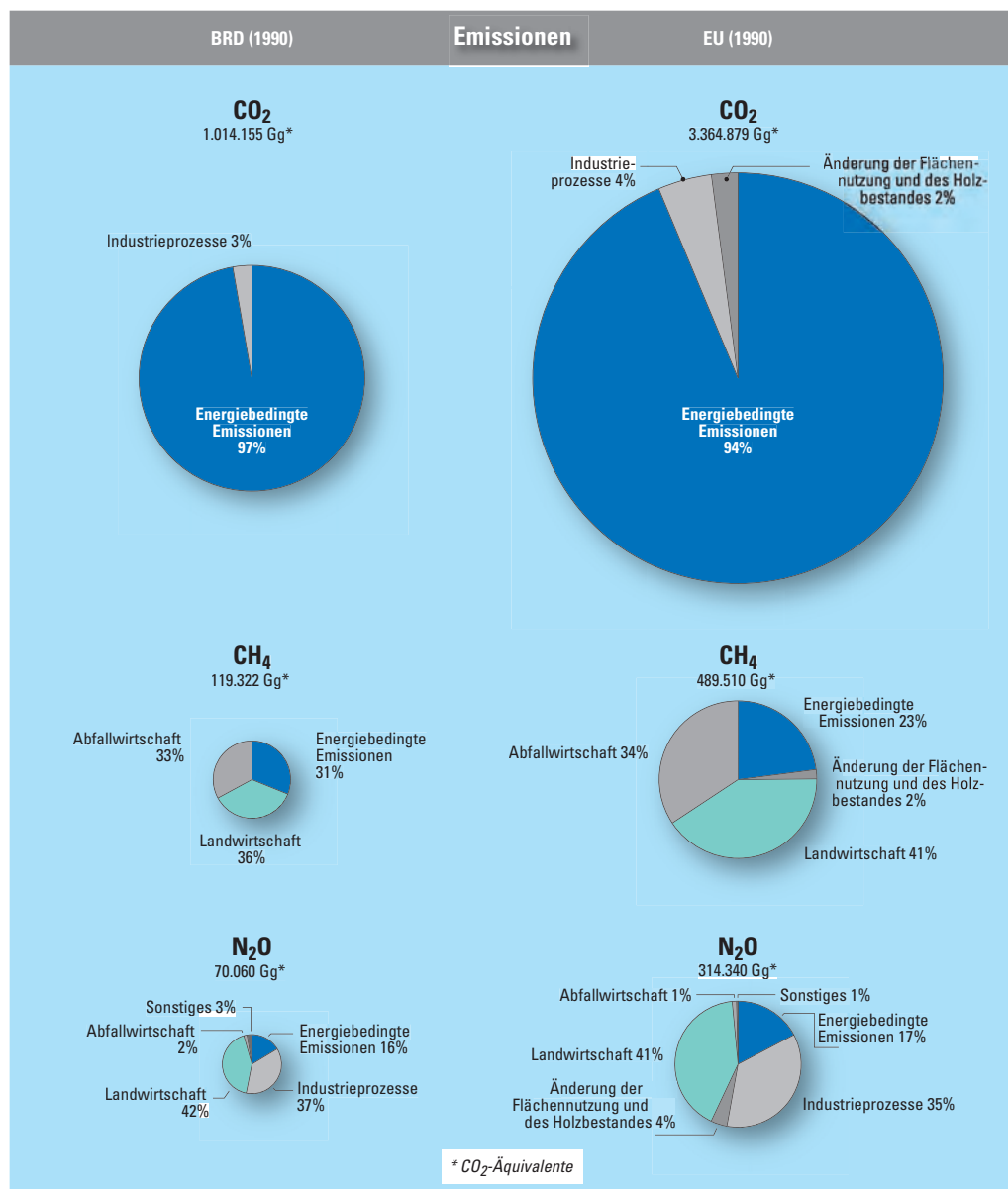
Die Konferenz in Den Haag ist vorerst nur unterbrochen, voraussichtlich Mitte 2001 werden die Vertragsparteien wieder zusammentreten, um dann die erwähnten Ausführungsbestimmungen zu verhandeln. Über die Aussichten, dort eine Einigung zu finden und wie diese Einigung aussehen könnte, kann man vorerst jedoch nur spekulieren. Es bleibt festzuhalten: Alle wesentlichen westlichen Industrieländer haben sich mit der Ratifikation der Klimarahmenkonvention zum Klimaschutz verpflichtet. Durch dieses Dokument entstand ein umfangreiches völkerrechtliches Regelwerk, das die Vertragsparteien anhält, ihre Politiken und Maßnahmen zum Klimaschutz offenzulegen und Inventare ihrer Treibhausgasemissionen aufzubauen. Konkrete Minderungsziele für die entwickelten Staaten sind im Kyoto-Protokoll fixiert, sie sind jedoch noch nicht rechtsverbindlich. Gleichwohl betrachtet die Bundesregierung die Erfüllung dieser Ziele als erforderlich.

Emissionssituation in der EU und in Deutschland und Bedeutung des Verkehrssektors

Auf Grund der Vorarbeit des IPCC und der Unterorgane der Konferenz der Vertragsparteien¹⁹ folgen die Inventare der anthropogenen Treibhausgase einer einheitlichen Methodik. Als Quelle für die Zwecke dieser Studie werden deshalb die Nationalen Zwischenberichte und die Daten, welche an das UN-Sekretariat für Klimaänderungen²⁰ geliefert wurden, benutzt²¹. Eine weitere Einschränkung für die Zwecke dieser Studie ist, Schwefelhexafluorid (SF₆), HFKWs und PFKWs nicht zu betrachten.

Abb. 3: Prozentuale Aufteilung der CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen nach Sektoren (BRD und EU)

Quelle: European Environment Agency 2000



Da der Verkehrssektor solche Gase überhaupt nicht emittiert und der Gesamtanteil dieser Gase an den Treibhausgasemissionen nach Umrechnung in CO_2 -Äquivalente typischerweise unter einem Prozent liegt²², wurden nur die drei Treibhausgase CO_2 , CH_4 und N_2O betrachtet. In Abb. 3 und Abb. 4 ist die prozentuale Aufteilung der Emissionen nach Sektoren dargestellt, zunächst für Deutschland, dann für die EU gesamt.

Die überragende Bedeutung der energiebedingten Emissionen – jedenfalls beim quantitativ maßgeblichen Klimagas CO_2 , sowie in der Folge insgesamt – kann man deutlich erkennen. Bei den nicht so dominanten CH_4 - und N_2O -Emissionen wiederum ist das Gewicht der Landwirtschaft vorherrschend.

Um die Emissionen des Verkehrs²³ einzuordnen, sind in Abbildung 4 die Anteile der einzelnen Unterkategorien der energiebedingten Emissionen aufgeführt, wiederum für Deutschland und für die EU gesamt.

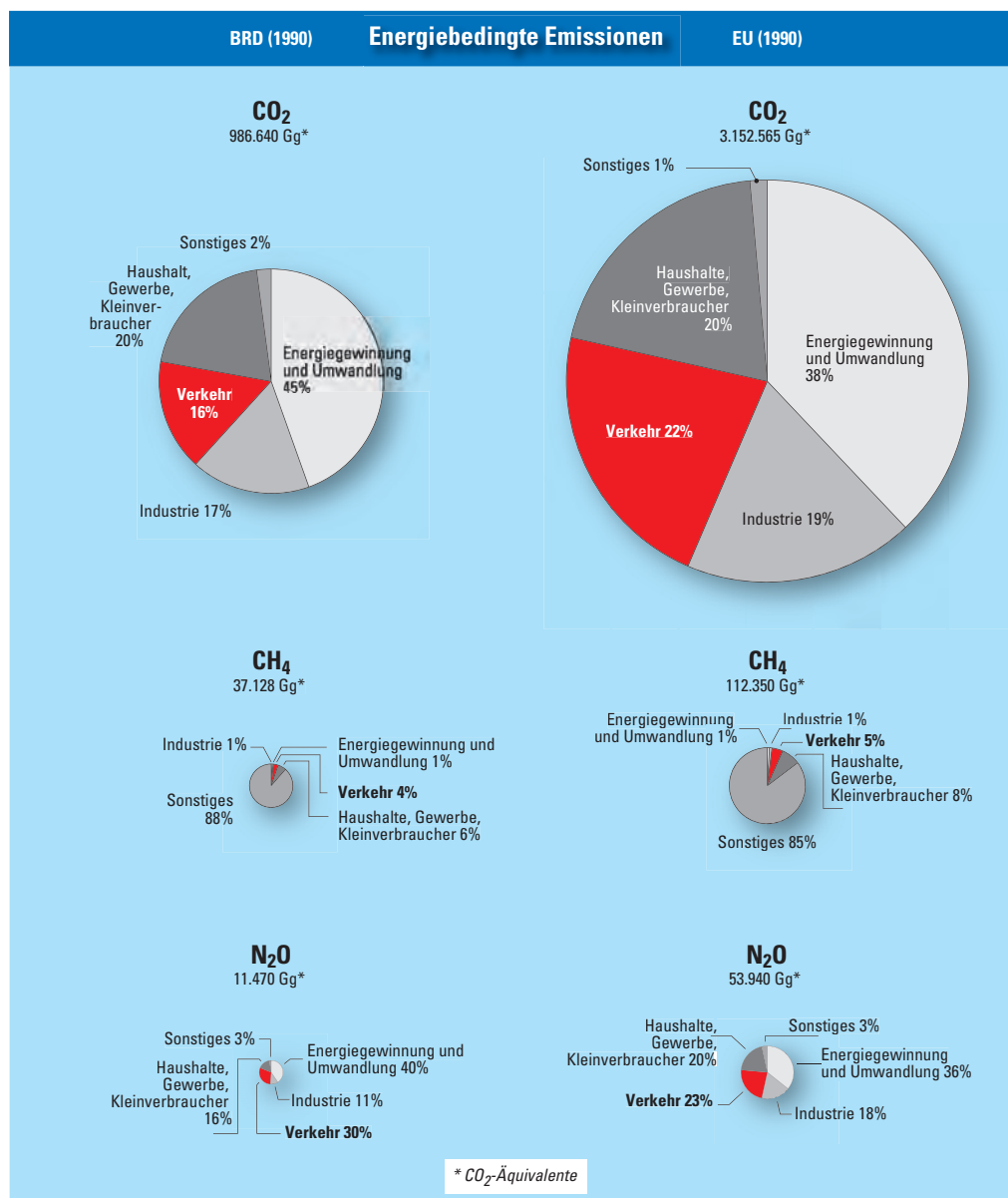


Abb. 4: Anteile der energiebedingten CO_2 -, CH_4 - und N_2O -Emissionen in den jeweiligen Unterkategorien (BRD und EU)

Quelle: European Environment Agency 2000

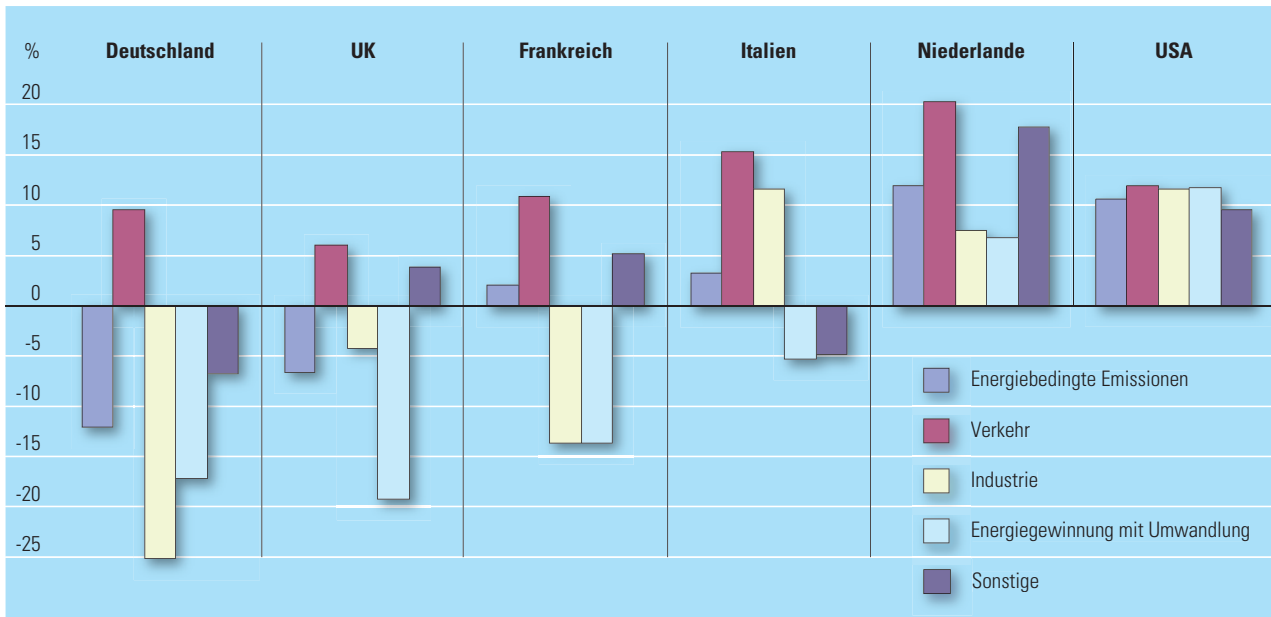


Abb. 5: Veränderungen der energiebedingten CO₂-Emissionen 1997 relativ zu 1990.

Quelle: UNFCCC 2000.

Man erkennt, dass der Verkehrssektor einen beträchtlichen Anteil der Treibhausgase emittiert. Im Bezugsjahr 1990 betrug dieser Anteil in der EU 21 Prozent und in Deutschland 15 Prozent der Emissionen an CO₂, CH₄ und N₂O zusammen genommen.

Um zu Trendaussagen zu gelangen, sind die Emissionen einzelner Sektoren im Laufe der Jahre zu betrachten. In Abb. 5 kann man erkennen, dass in allen aufgelisteten Staaten die Emissionen des Verkehrs deutlich ansteigen.

Der Verkehrssektor tritt nach dieser offiziellen Bilanz sowohl in Deutschland als auch in der Europäischen Union und in den USA als derjenige Sektor mit den höchsten Zuwachsraten hervor. Während in Deutschland und in wichtigen europäischen Nachbarländern vor allem in der Industrie und in der Energiegewinnung bzw. -umwandlung Einsparungen gelingen – wenngleich nicht in allen aufgeführten Ländern –, entwickelte sich der Verkehr entgegen diesem erfreulichen Verlauf und beeinflusst daher den Gesamttrend maßgeblich negativ. Dadurch kann die Erfüllung der quantifizierten Verpflichtungen in Frage gestellt werden.

Innerhalb des Verkehrs ist der Straßenverkehr Hauptverursacher der Emissionen. Auf die Verhältnisse bei dem Klimaleitgas CO₂ wird nachfolgend noch genauer eingegangen; für die weniger relevanten Klimagase CH₄ und N₂O – an denen der Verkehr auch nicht so stark beteiligt ist – gelten ähnliche Relationen.

Deutsche Klimaschutzstrategie unter besonderer Berücksichtigung des Verkehrs

Wie beschrieben, muss Deutschland gemäß Kyoto seine CO₂-Emissionen in den Jahren 2008–2012 um durchschnittlich 21 Prozent gegenüber 1990 vermindern. Es gibt jedoch noch eine zweite Messlatte für die deutschen Erfolge beim Klimaschutz. In seiner Eröffnungsrede auf der ersten Vertragsstaatenkonferenz der Klimakonvention verkündete der damalige Bundeskanzler Kohl, es sei das erklärte Ziel seiner Regierung, bis 2005 die Kohlendioxidemission gegenüber 1990 um 25 Prozent zu senken. Nicht zuletzt diese Selbstverpflichtung erlaubte es der europäischen Union bei den Verhandlungen zum Kyoto-Protokoll auf hohe Emissionsminderungen zu pochen. Sie ist also von erheblicher internationaler Bedeutung.

Nach dem Regierungswechsel bekräftigte die Rot/Grüne Bundesregierung diese Selbstverpflichtungserklärung im Koalitionsvertrag und auch jüngst wieder bei der Vorstellung des nationalen Zwischenberichtes zum Klimaschutzprogramm der Bundesregierung (BMU 2000). In diesem Zwischenbericht erläutert die Bundesregierung die bisherige Entwicklung und den Stand der Arbeiten am Klimaschutzprogramm. Festgehalten wird, dass die beim Regierungswechsel 1998 vorliegenden Prognosen davon ausgingen, dass bis 2005 lediglich eine CO₂-Minderung von 15–17 Prozent zu erwarten sei; unter Berücksichtigung der zwischenzeitlich ergriffenen Maßnahmen sei 2005 eine Minderung von voraussichtlich 18–20 Prozent zu erreichen. Zusätzliche Maßnahmen seien daher notwendig, um ein weiteres Minderungspotenzial von 50–70 Mio. t zu erschließen.

Über die Verteilung der gegenüber dem Trendverlauf noch zusätzlich zu reduzierenden CO₂-Mengen gibt es nach dem Bericht eine grundsätzliche Verständigung zwischen den Ressorts, wobei sich die Arbeiten an folgenden Ziffern orientieren:

- Private Haushalte und Gebäudebereich: 18–25 Mio. t
- Energiewirtschaft und Industrie: 20–25 Mio. t
- Verkehr: 15–20 Mio. t

Als Regel wird in dem Bericht der Bundesregierung festgehalten, dass zunächst in jedem Sektor selbst zu prüfen sei, wie weit zusätzliche innersektorale Maßnahmen in Frage kämen, falls hier keine Lösungen gefunden werden können, müssten verstärkte Anstrengungen in anderen Sektoren die fehlenden Reduktionsmengen kompensieren.

Im kurz vor der Haager Klimakonferenz (COP6) erschienenen 5. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe (IMA-CO₂) sind die Maßnahmen weiter spezifiziert und teilweise quantitativ in ihrem Wirkungsumfang abgeschätzt (vgl. [Tabelle 4](#)).

Die Zahlenangaben geben einen Hintergrund für die relative Bedeutung der Maßnahmen; neben der großen Zahl nicht bezifferter Maßnahmen ist allerdings noch zu erwähnen, dass auch die Bezugsgrößen der Prozentangaben nicht klar sind. Zwar ist die Angabe in den Spaltenköpfen scheinbar eindeutig, im Einzelnen bereitet die Interpretation jedoch gewisse Schwierigkeiten. Auch die Wirkungsbestimmung des Gesamtbündels mit 10–15 Mio. t dürfte eher den gleich lautenden Betrag aus dem Klimaschutzprogramm der Bundesregierung übernehmen als – wie in der Tabelle 4 bezeichnet – den Minderungsumfang der verkehrlichen CO₂-Emissionen im Jahr 2005 gegenüber 1990: Dafür wäre immerhin eine Absenkung um etwa ein Viertel gegenüber dem im 5. IMA-Bericht entwickelten Emissionsumfang von 1998 erforderlich.

Tabelle 4: Maßnahmen im Bereich „Verkehr“ nach dem 5. IMA-Bericht

Maßnahme	Minderungsbeitrag in Mio. t CO ₂ bis 2005 gegenüber 1990	Minderungsbeitrag in Mio. t CO ₂ bis 2010 gegenüber 1990
Ökologische Steuerreform (ausgenommen Steuerpräferenz im Rahmen der Mineralölsteuer)	6–8 Mio. t (Minderungsbeitrag als Gesamtsumme im Bereich „Querschnittsorientierte Maßnahmen“ erfasst.)	
CO ₂ -Minderung bei neuen Kfz / freiwillige Vereinbarung der Automobilindustrie	4,0–7,0 Mio. t	10 Mio. t *
Förderung schwefelarmer Kraftstoffe (Steuerpräferenz im Rahmen der Mineralölsteuer)	2 – 5 Mio. t **	
Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie		1–2 Mio. t ***
Integrierte Verkehrsplanung	nicht quantifizierbar	nicht quantifizierbar
Überarbeitung des Bundesverkehrswegeplans 1992	nicht quantifizierbar	nicht quantifizierbar
Anti-Stauprogramm 2003–2007	0,5 Mio. t	nicht quantifizierbar
Telematik und Flottenmanagementsysteme	3 Mio. t	
Luftverkehr Emissionsorientierte Abgaben Bessere Abstimmung im Flugverkehr/reibungslosere Flugsicherung und Flugüberwachung	1 Mio. t	
Förderung kraftstoffsparender Fahrzeuge im Rahmen der Kfz-Steuer	1 Mio. t	
Streckenabhängige Autobahnbenutzungsgebühr für LKW/Schwerlastabgabe	5,0 Mio. t	
Informations- und Aufklärungsmaßnahmen (z.B. durch allgemeine Schulung oder über eine energiesparende Fahrweise)	5,0 Mio. t	
Verbesserung und Schaffung von Voraussetzungen für einen energieträgersparenden Verkehrsträgermix		
Schaffung von Güterverkehrs- und Güterverteilzentren/ Vermeidung von Leerfahrten im Güterverkehr	nicht quantifizierbar	nicht quantifizierbar
Umwandlung der Kilometerpauschale in eine verkehrsmittel-unabhängige Entfernungspauschale	derzeit nicht quantifizierbar	derzeit nicht quantifizierbar
Faire Wettbewerbsbedingungen für alle Verkehrsträger / klimarechte Perspektive für die Deutsche Bahn AG (Bahnstrukturreform)	derzeit nicht quantifizierbar	derzeit nicht quantifizierbar
Berücksichtigung von Klimaschutzanliegen bei der Siedlungs- und Landschaftsplanung	derzeit nicht quantifizierbar	derzeit nicht quantifizierbar
Umsetzung des Berichts der Bundesregierung zur Förderung des Fahrradverkehrs vom 23.05.2000	derzeit nicht quantifizierbar	derzeit nicht quantifizierbar
Aufhebung der Umsatzsteuerbefreiung im grenzüberschreitenden Luftverkehr	derzeit nicht quantifizierbar	derzeit nicht quantifizierbar
Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben	derzeit nicht quantifizierbar	derzeit nicht quantifizierbar
Nutzung alternativer Treibstoffe wie Erdgas, Wasserstoff, Methanol	derzeit nicht quantifizierbar	derzeit nicht quantifizierbar
Verwendung von Leichtlaufölen und Leichtlaufreifen in neuzugelassenen Fahrzeugen	3–5,5 Mio. t	11 Mio. t
Gesamteffekt des Maßnahmenbündel	15 bis 20 Mio. t	

* Abschätzung der deutschen Automobilindustrie auf Grundlage der Selbstverpflichtung der europäischen Automobilhersteller (ACEA), die mittlere CO₂-Emissionen neuer PKW auf 140 g/km bis zum Jahr 2008 zu reduzieren. Dieser Beitrag stellt die untere Grenze des erzielbaren CO₂-Minderungsbeitrags dar, da das Ziel der Bundesregierung darin besteht, eine Minderung der durchschnittlichen CO₂-Emissionen neuzugelassener PKW bis spätestens 2010 auf 120 g CO₂/km zu erreichen.

** Abschätzung der deutschen Automobilindustrie. Minderungsangabe bereits weitestgehend in der freiwilligen Vereinbarung der Automobilindustrie enthalten.

*** Abschätzung der deutschen Automobilindustrie

Quelle: BMU (Hg.): 5. Bericht der IMA CO₂, Oktober 2000, S. 75f.

Jüngst vorgelegte Analysen aus dem DIW schließen auch schon vorläufige Ergebnisse bis zum Jahr 2000 ein (WITTKE/ZIESING 2001, ZIESING 2001). Danach hat sich einerseits der Primärenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2000 leicht vermindert, während gleichzeitig die CO₂-Emissionen leicht angestiegen sind; temperaturbereinigt wäre allerdings auch der Primärenergieverbrauch geringfügig gestiegen. Damit verbleibt noch eine Lücke von etwa 100 Mio. t CO₂ (rd. 12 Prozent des Werts von 2000) zum angestrebten Reduktionsziel für CO₂ im Jahr 2005. Bei den im Verkehrsbereich maßgeblichen Kraftstoffen verlief die Entwicklung unterschiedlich. Bei Ottokraftstoffen war der Absatz im Jahr 2000 um 4,3 Prozent rückläufig, bei Dieselmotorkraftstoffen stieg der Absatz um 0,5 Prozent und expandierte wie in der Vergangenheit bei Flugkraftstoffen besonders stark, in 2000 mit 5,4 Prozent. In unseren nachfolgenden Berechnungen konnten diese neuen (vorläufigen) Werte des DIW noch nicht berücksichtigt werden.

1 Übersicht über die klimarelevanten Verkehrsemissionen in Deutschland

Die generelle Einordnung des Verkehrssektors und seiner Entwicklung in den Gesamtzusammenhang ist bereits oben erfolgt. Für eine genauere Betrachtung ist der Verkehrssektor in seinen einzelnen Komponenten (Subsektoren) zu betrachten. Dabei erscheint von Bedeutung, dass gemäß dem international vereinbarten Berichtsschema bislang ein maßgebliches Verkehrssegment, nämlich der grenzüberschreitende Luftverkehr, aus der Betrachtung ausgeschlossen wird. Unter Klimagesichtspunkten ist dieser Sektor aber wegen der spezifischen Klimawirkungen der Emissionen in großen Flughöhen, wie auch wegen seiner hohen Zuwachsraten nicht zu vernachlässigen. Auch für eine sachgerechte Bewertung der einzelnen Verkehrsbereiche untereinander empfiehlt es sich, den grenzüberschreitenden Luftverkehr nicht auszublenden. In unseren Analysen zu Verkehr und Klima wird deshalb der Luftverkehr in der Regel in seinem vollen Umfang wenigstens nachrichtlich mitgeführt, auch wenn dadurch die Konkordanz mit den Zeitreihen aus der nationalen Berichterstattung im Rahmen der Klimakonvention aufgegeben wird.

Unter diesen Voraussetzungen konnten im Rahmen einer vor einem Jahr abgeschlossenen Studie (SCHALLABÖCK/PETERSEN 1999) die folgenden Ergebnisse für den Stand und die Trendentwicklungen bei den CO₂-Emissionen aus dem Verkehr abgeschätzt werden (Tabelle 5):

Jahr	PKW	mot. 2-Räder	Busse	Bahn	LKW	Binnen- schiff	Flugzeug	gesamt
1990	106,0	1,1	3,4	10,0	33,1	2,0	13,9	169,5
1995	107,6	1,1	3,1	10,5	47,9	1,7	17,0	189,2
2000	110,8	1,1	3,0	10,7	56,0	2,5	22,0	206,5
2005	114,3	1,1	2,9	10,8	59,9	3,0	27,8	220,1
2010	111,4	1,1	2,8	10,7	62,7	3,5	33,6	226,1
2015	108,4	1,1	2,7	10,6	65,0	3,9	39,2	231,2
2020	104,0	1,0	2,6	10,3	66,5	4,4	44,4	233,6

Tabelle 5: Entwicklung der CO₂-Emissionen aus dem Verkehr, Mio. t
Luftverkehr: Inlandsmark-
prinzip

Bei Berücksichtigung der spezifisch höheren Klimabelastung aus dem Luftverkehr ist der CO₂-Gleichwert dieses Segments weiter zu erhöhen. Nach gegenwärtigen Einschätzungen (IPCC 1999) beträgt die gesamte unmittelbare Klimawirkung des Luftverkehrs (nach dem sog. radiation forcing index, RFI) etwas das 2,7-fache derjenigen von

CO₂ allein. Bei Berücksichtigung dieser Mehrbelastung erhält man die in der nachfolgenden Tabelle 6 entwickelte Darstellung der CO₂-äquivalenten Belastung aus dem Verkehr.

Tabelle 6: Entwicklung der CO₂-äquivalenten Belastung aus dem Verkehr, Mio. t

Luftverkehr: Inlandsmarktprinzip, CO₂-Emissionen 2,7-fach gewichtet

Jahr	PKW	mot. 2-Räder	Busse	Bahn	LKW	Binnen- schiff	Flugzeug	gesamt
1990	106,0	1,1	3,4	10,0	33,1	2,0	37,6	193,2
1995	107,6	1,1	3,1	10,5	47,9	1,7	46,0	218,2
2000	110,8	1,1	3,0	10,7	56,3	2,5	59,4	243,9
2005	114,3	1,1	2,9	10,8	59,9	3,0	74,9	267,3
2010	111,4	1,1	2,8	10,7	62,7	3,5	90,7	283,2
2015	108,4	1,1	2,7	10,6	65,0	3,9	105,9	297,9
2020	104,0	1,0	2,6	10,3	66,5	4,4	119,8	309,0

Aus beiden Darstellungen ergibt sich, dass gegenwärtig und in Zukunft – wenngleich in unterschiedlicher relativer Bedeutung – insbesondere drei Verkehrsbereiche zur Klimabelastung aus dem Verkehr beitragen, nämlich der PKW-Verkehr, der LKW-Verkehr und der Luftverkehr:

- Der PKW-Verkehr stellt traditionell die wichtigste Größe dar und wird im Zeitraum bis 2020 unter Trendbedingungen seinen Belastungsanteil von derzeit 54 % auf etwa 45 % verringern. Es ist zu erwarten, dass spätestens nach 2005 die Belastungen aus dem PKW-Sektor etwas absinken. Eine genauere Analyse erfolgt weiter unten.
- Der LKW-Verkehr weist nach allgemeiner Einschätzung deutliche Zuwachsraten auf, die nicht durch entsprechende Einsparpotenziale beim Energieverbrauch und bei den klimarelevanten Emissionen kompensiert werden können. Die Höhe der davon ausgehenden CO₂-Emissionen könnte sich daher zwischen 1990 und 2020 in etwa verdoppeln und – verglichen mit dem PKW-Verkehr – nach einem Drittel im Jahr 1990 etwa zwei Drittel der Belastungshöhe in 2020 erreichen. Wieweit die aktuellen Entwicklungen bei den Treibstoffpreisen eine Modifizierung der Abschätzungen erfordern, kann im Moment – wie im Übrigen auch bei den PKW – noch nicht zureichend eingeschätzt werden.
- Der Luftverkehr, der in herkömmlicher Betrachtung vor nicht allzu langer Zeit noch weitgehend vernachlässigt werden konnte, wächst auch bei Beschränkung auf die direkten CO₂-Emissionen im betrachteten Zeitraum in relevante Größenklassen hinein. Bis 2020 können die CO₂-Emissionen des Luftverkehrs auf 40–50 Prozent jener des PKW-Verkehrs ansteigen. Naturgemäß erhält man ein dramatischeres Bild, wenn man die CO₂-äquivalenten Belastungsmengen gemäß dem RFI zu Grunde legt. In diesem Fall ist die Klimabelastung aus dem Luftverkehr bereits derzeit in gleicher Höhe wie jene aus dem LKW-Verkehr einzustufen und kann bis 2020 jene des PKW-Verkehrs übertreffen.

Deutlich wird, dass unter Trendbedingungen die Gesamtbelastung aus dem Verkehr weiterhin als steigend angesetzt werden muss und somit die Reduktionsziele jedenfalls in diesen Sektor zunächst recht grob verfehlt werden. Zur Bestimmung möglicher und aussichtsreicher Handlungsansätze sind gleichermaßen technische Gegebenheiten zu berücksichtigen wie auch die im Verkehr selbst innewohnenden treibenden Kräfte bei der Verkehrsentwicklung. Qualitativ können diese Triebkräfte bei den maßgeblichen drei Verkehrsbereichen in ihrer Stärke gut gegeneinander abgegrenzt werden:

Beim PKW-Verkehr sind sicher weiterhin expansive Kräfte wirksam, wenngleich nicht sehr stark ausgeprägt; jedenfalls ist aber von massiven Beharrungskräften auszugehen,

die einer signifikanten Minderung entgegenstehen. Von einer Reduzierung um 21 oder gar 25 Prozent kann nicht die Rede sein.

Beim LKW-Verkehr liegen die treibenden Kräfte einer weiteren Expansion auf der Hand: Die weitere wirtschaftliche Expansion, die Globalisierung der Märkte (hier insbesondere die zunehmende Verflechtung innerhalb der EU und die schrittweise Ostöffnung dieses Wirtschaftsraums) sowie strukturelle Entwicklungen im Straßen-güterverkehr (just-in-time Lieferung, kleinere Sendungsgrößen, aufwendigere Konditionierung und Verpackung der Güter, etc.) weisen im Effekt in die gleiche Richtung.

Beim Luftverkehr schließlich ist unter den gegenwärtigen Bedingungen ein Ende für die stürmische Wachstumsentwicklung nicht absehbar. Die geringe Anzahl von Flugreisen je Einwohner (derzeit gut 0,5 je Einwohner und Jahr), das Preisspektrum für Flugreisen mit z.T. sehr niedrigpreisigen Angeboten und die weitgehend positive Beurteilung des Luftverkehrs durch einen großen Teil des Publikums ergeben zusammen einen recht stabilen Antrieb.

Unter dem Gesichtspunkt der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit wird man die geschilderte unterschiedliche Dynamik der einzelnen Segmente zu berücksichtigen haben. Nachfolgend genauer zu betrachten ist die Entwicklung des PKW-Verkehrs in Deutschland.

2 Bisherige Entwicklung des PKW-Verkehrs in Deutschland

Der PKW-Verkehr in Deutschland seit 1950 ist durch ein dynamisches Wachstum gekennzeichnet, das bis heute anhält. Die Expansion betrifft in ähnlicher Größenordnung die PKW-Bestände, die jährlichen PKW-Fahrleistungen und – bei relativ geringen Änderungen im spezifischen Treibstoffverbrauch – auch die CO₂-Emissionen.

Im Zuge der Entwicklung stieg zunächst der spezifische Treibstoffverbrauch an, sinkt jedoch nach einer langen Plateauphase seit den achtziger Jahren – zunächst bei den Neufahrzeugen, dann auch in der Bestandsflotte wieder ab; mittlerweile ist wieder das Niveau vom Ende der 50er Jahre erreicht, vgl. Abb. 6 (Angaben für Bestandsflotte nach DIW, für Neufahrzeuge nach VDA). Die noch immer übliche Darstellung in Liter pro

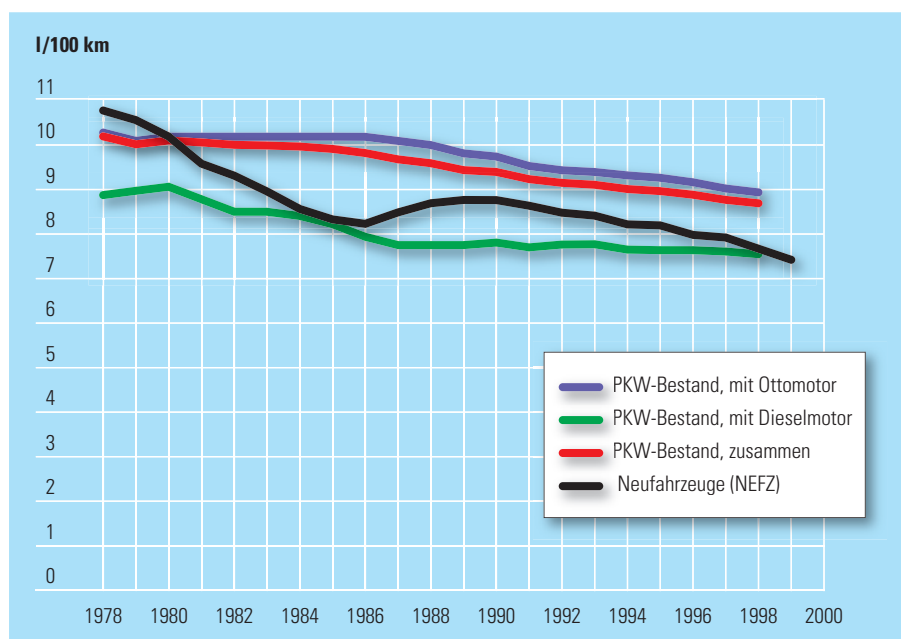
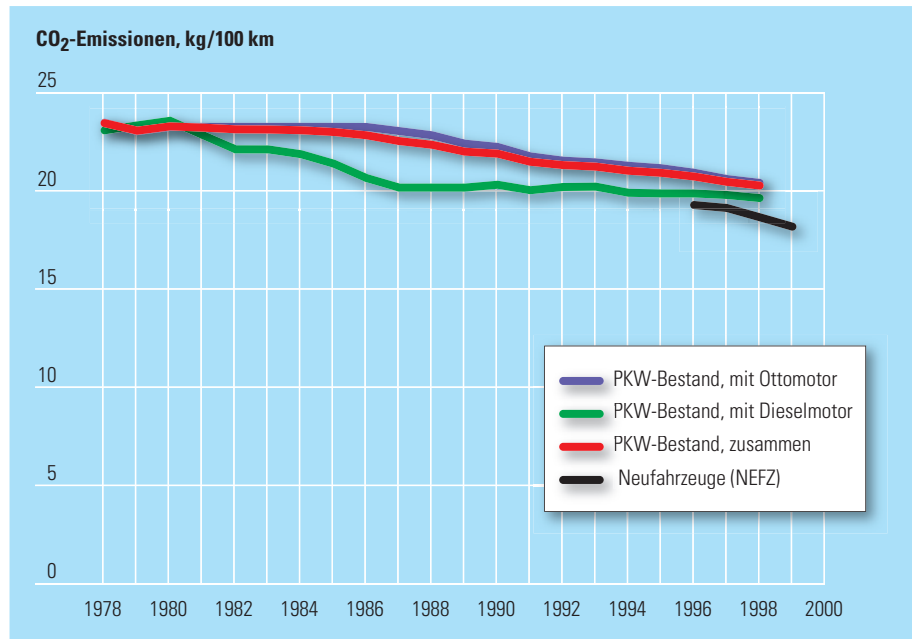


Abb. 6: Spezifische Verbrauchswerte der PKW
bis 1990 früheres Bundesgebiet, ab 1991 Deutschland; NEFZ = Neuer Europäischer Fahrzyklus. Quelle: DIW, VDA

Abb. 7:
Spezifische CO₂-Emissionen der PKW

bis 1990 früheres Bundesgebiet, ab 1991 Deutschland.
Quelle: DIW, VDA

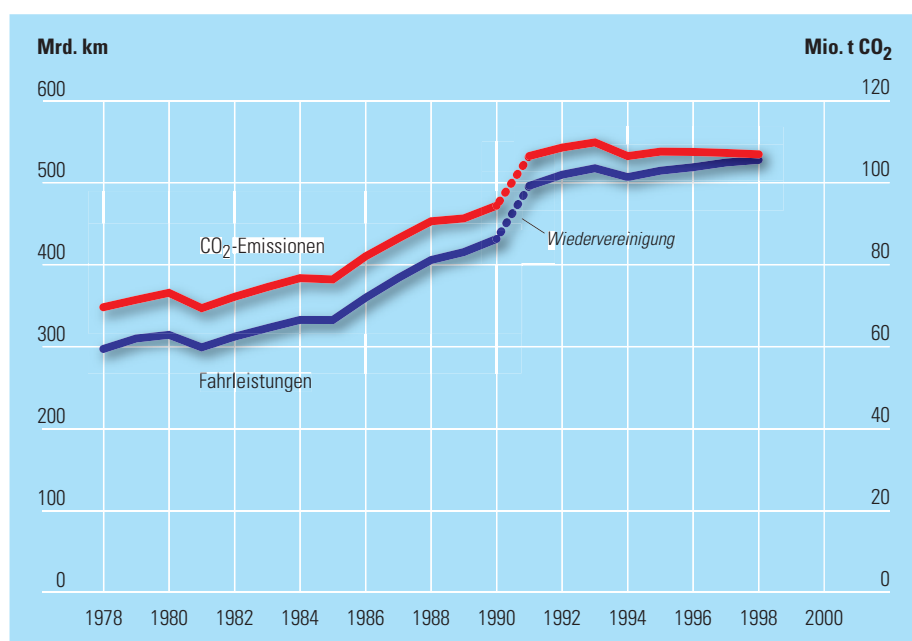


100 km unterschätzt den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen der Diesel-PKW. Aufgrund des höheren Kohlenstoffgehalts ist Dieselmotor schwerer, enthält pro Liter mehr Energie und emittiert etwa 14 Prozent mehr CO₂ je Liter. Bei Betrachtung der spezifischen CO₂-Emissionen je 100 km relativiert sich daher der Vorteil des Dieselantriebs in der Praxis deutlich, vgl. Abb. 7.

Insgesamt stiegen die CO₂-Emissionen aus dem PKW-Verkehr zunächst stark an: Steigende Fahrleistungen und steigende Verbrauchsziffern verstärkten sich. In den letzten Jahren gehen die Emissionen an CO₂ zunehmend in eine stagnative Entwicklung über, da die leicht steigenden Fahrleistungen nunmehr durch die leicht sinkenden Verbräuche praktisch kompensiert werden, vgl. Abb. 8.

Abb. 8:
Gesamte Fahrleistungen und CO₂-Emissionen der PKW

bis 1990 früheres Bundesgebiet, ab 1991 Deutschland.
Quelle: DIW



3 Künftige Entwicklung des PKW-Verkehrs in Deutschland

Die Entwicklung der Klimalasten aus dem (PKW-)Verkehr ist maßgeblich durch den Umfang des Einsatzes fossiler Energieträger bestimmt, die hier bislang nahezu ausschließlich als Energiebasis genutzt werden; künftig ist gegebenenfalls ein zunehmender Anteil regenerativer Energieträger zu berücksichtigen, die in der Klimabilanz anders zu bewerten sind.

Der gesamte Energieeinsatz wird hergeleitet aus dem Umfang der Fahrleistung und dem spezifischen Energieeinsatz je 100 km; der Umfang der Fahrleistung wiederum wird durch die Anzahl der Fahrzeuge und deren durchschnittliche jährliche Fahrleistung bestimmt, wobei die Anzahl der Fahrzeuge aus der Entwicklung der (fahrfähigen) Bevölkerung und einem Ansatz über die allgemeine Zunahme der Motorisierung abgeleitet wird.

Als maßstabbildend für die allgemeinen Erwartungen zum künftigen PKW-Bestand können die sog. SHELL-Prognosen herangezogen werden, die seit den fünfziger Jahren regelmäßig alle zwei Jahre, zuletzt 1999, vorgelegt wurden. Methodische Grundlage dieser Prognosen ist ein logistischer Ansatz, der in Fortsetzung des historischen Trends eine Sättigung im spezifischen PKW-Besatz je 1000 Erwachsene unterstellt. Dementsprechend wurde immer wieder für die jeweils nähere Zukunft ein noch deutlicher Anstieg, danach jedoch ein merkliches Umschwenken in einen eher stagnierenden PKW-Bestand prognostiziert. Im Vergleich der SHELL-Prognosen über die Zeit sowie mit der Realentwicklung ist allerdings festzustellen, dass sowohl die mittel- und vor allem längerfristige Entwicklung immer wieder unterschätzt als auch in den späteren SHELL-Prognosen immer wieder höhere Sättigungsgrenzen und höhere PKW-Bestände prognostiziert wurden: Entgegen der jeweils prognostizierten Abschwächung des Bestandszuwachses hat sich in der Wirklichkeit eine weitgehend lineare Bestandszunahme ergeben. Insofern ist die Schätzfunktion der SHELL-Prognosen wenig befriedigend.

Insbesondere mit Blick auf die USA, wo in einzelnen Bundesstaaten die Anzahl der Kraftfahrzeuge bereits seit längerem die Anzahl der Führerscheininhaber übersteigt, schlagen wir eine Revision des Ansatzes vor: Offensichtlich kann eine Person jeweils nur ein Fahrzeug lenken, jedoch mehr als ein Fahrzeug halten. Die zunehmende Differenzierung in der marktverfügbaren Fahrzeugpalette wie auch die Ergebnisse der alle fünf Jahre durchgeführten Einkommens- und Verbrauchsstichproben des Statistischen Bundesamtes hinsichtlich einer Mehrfachausstattung mit PKW legen nahe, dass dies auch für Deutschland zunehmend relevant wird. Auch mit Stützung auf diese Zusammenhänge ist längerfristig von Wachstumsabschwächungen auszugehen, insofern auch dabei ein abnehmender Zusatznutzen zusätzlicher Fahrzeuge und Fahrzeugkonzepte angenommen werden kann. Für die Abschätzung überschaubarer Zeiträume verwenden wir jedoch eine etwas andere Trendfunktion, indem wir eine lineare Abnahme der Zuwachsraten ansetzen. Die Vergangenheitswerte sind damit gut erklärbar, für die künftige Entwicklung ergeben sich etwas höhere Ansätze als bei den SHELL-Prognosen, vgl. Abb. 9. Auch wenn wir annehmen können, mit diesem Ansatz einen guten Schätzer für mittlere Zeiträume zu verwenden, sei keineswegs ausgeschlossen, dass mit anderen, zumal komplexeren Funktionen noch bessere Ergebnisse erzielt werden könnten.

Auf den Umfang der Fahrleistung hat die höhere PKW-Anzahl lediglich eine geringe Auswirkung. Zwar kann man davon ausgehen, dass ein höherer Fahrzeugbestand auch in gewissem Umfang eine zusätzliche Fahrzeugverwendung induziert, maßgeblicher wird jedoch sein, dass sich die Verkehrsumfänge der Fahrzeugbetreiber auf eine größere Flotte von Fahrzeugen verteilen. In der Tat liegt die von uns abgeleitete Erwartung für die künftige Fahrleistung im motorisierten Individualverkehr im Spektrum der Szenarien des kürzlich erschienenen Verkehrsberichtes 2000 des Bundesverkehrsministeri-

Abb. 9:
Entwicklung des PKW-
Bestandes

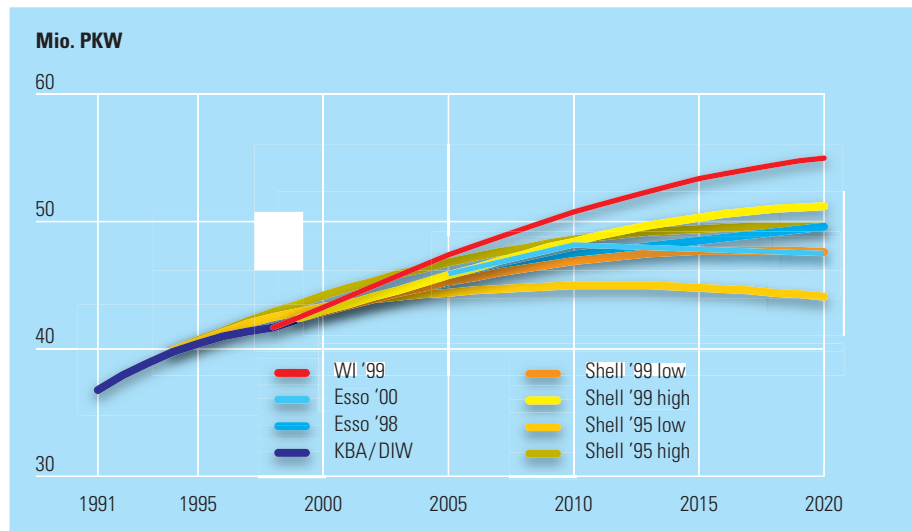
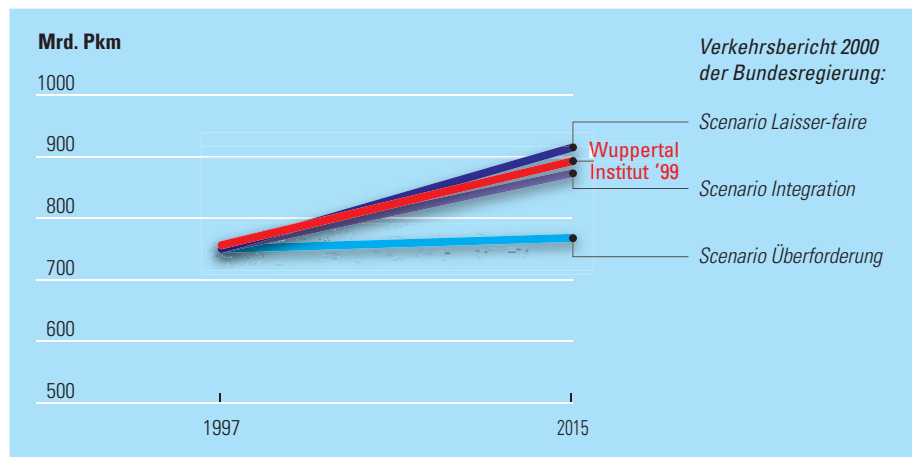


Abb. 10:
Künftige Verkehrs-
leistungen im MIV



ums, der für das Jahr 2015 zwischen 768 und 915 Mrd. Personenkilometer (Pkm) erwartet, und mit 893 Mrd. Pkm nahe dem dort als Schwerpunkt ausgeprägten Szenario „Integration“ mit 873 Mrd. Pkm (vgl. Abb. 10).

Bei den spezifischen Verbrauchswerten und Klimagasemissionen je 100 km ist von einer systematischen Senkung auszugehen aufgrund der fortgesetzten Einführung verbrauchsärmerer Modelle und gegebenenfalls einem zunehmenden Einsatz von regenerativen Energieträgern, die in der Klimabilanz als emissionsfrei bewertet werden. Insgesamt kann hier als Leitlinie für die Entwicklung der Zielwert von 140 g CO₂/km für die Neufahrzeuge des Jahres 2008 angesetzt werden, zu dem sich die europäische Automobilindustrie selbst verpflichtet hat. Die EU hat hierzu einen etwas niedrigeren Wert für einen etwas früheren Zeitpunkt als Ziel entwickelt, scheint jedoch eine Erfüllung der Selbstverpflichtung der Industrie auch zu akzeptieren. Man kann daher mit gewisser Plausibilität davon ausgehen, dass jedenfalls das Selbstverpflichtungsziel durch die Automobilindustrie umgesetzt wird.

Der Umfang der dabei im Einzelnen kombinierten Effekte wird derzeit noch recht unterschiedlich eingeschätzt. Eine kritische Bewertung alternativer Antriebe und Kraftstoffe führt dazu, hierfür in absehbarer Zeit lediglich recht beschränkte Potentiale anzusetzen. Größere Potentiale könnten sich zunächst aus geänderten Fahrzeugkonzepten, insbesondere verbrauchsgünstigen „Stadtautos“ ergeben, wie auch aus dem allgemeinen Fortschritt der Technik von Verbrauchseinsparungen; vgl. hierzu den Kasten 1.

Potentielle technische CO₂-Einsparstrategien

Kasten 1

Alternative Antriebskonzepte

Batteriefahrzeuge

Elektrische Antriebe mit Akkumulatoren als Energiespeicher haben eine ähnlich lange Entwicklungsgeschichte wie Antriebe mit Verbrennungskraftmaschinen, konnten sich allerdings im Zuge der Massenmotorisierung nicht durchsetzen. In der Folge der Ölpreiskrisen von 1973 und 1979/80 und den Schadstoffdiskussionen in den achtziger Jahren wurden die Entwicklungsanstrengungen wieder deutlich intensiviert. Heute werden die Entwicklungen allerdings deutlich zurückhaltender eingeschätzt. Aufgrund nicht zufriedenstellender Erfahrungen – speziell in Deutschland auch nach dem wissenschaftlich begleiteten Großversuch auf der Insel Rügen – wird nur mehr sehr nachrangig an der Entwicklung von Batteriefahrzeugen gearbeitet. Es ist derzeit nicht absehbar, dass solche Fahrzeuge Marktrelevanz bekommen werden.

Brennstoffzellenfahrzeuge

Elektrische Antriebe mit Strombereitstellung durch Brennstoffzellen werden in der Diskussion um alternative Antriebsmöglichkeiten im Straßenverkehr zunehmend dominant. Anlässlich der kürzlichen Vorstellung des Versuchsfahrzeuges „NECAR 5“ wurde von DaimlerChrysler herausgestellt, dass hier innerhalb der letzten sechs Jahre insgesamt sechzehn Fahrzeuge mit brennstoffzellengestütztem Antrieb zusammengebaut wurden, mehr als von allen anderen Beteiligten weltweit zusammen. Bereits vor etwa einem halben Jahr wurden von DaimlerChrysler weltweit erstmalig Brennstoffzellen-Fahrzeuge marktlich angeboten, nämlich eine Kleinserie von etwa 20–30 Bussen zur Auslieferung ab Ende 2002 zu Stückpreisen von etwa 2,5 Mio. DM. Ab 2004 sollen nach kürzlicher Meldung auch Brennstoffzellen-PKW in Serie hergestellt und angeboten werden; aus heutiger Sicht wird man auch hier zunächst von sehr kleinen Serien ausgehen können. Es sind zwar erhebliche Entwicklungsschritte erzielt worden, im Zeitraum bis ca. 2020 dürfte jedoch keine Relevanz für den Massenmarkt bestehen.

Hybridfahrzeuge

Bei Hybridfahrzeugen wird in der Regel eine herkömmliche Verbrennungskraftmaschine zusammen mit einem Elektromotor eingesetzt und je nach Konzept und Betriebsbedingungen alternativ oder additiv aktiviert. Der Vorteil solcher Konzepte liegt in der fallweise erreichbaren örtlichen Emissionsfreiheit bzw. -armut. Energetisch und hinsichtlich der klimarelevanten Emissionen können Hybridkonzepte dann Vorteile haben, wenn ein kleiner Verbrennungsmotor für stationäre Fahrt mit Beschleunigungsreserven aus einem Batteriezwischenspeicher kombiniert wird. Dann würde der Wirkungsgrad dieses Verbrennungsmotors günstiger sein als bei einem Motor mit großem Hubraum. Kostenmäßig wird man in der Regel von höheren Werten ausgehen müssen wegen der Verwendung einer zusätzlichen Antriebsquelle. Bislang werden auch Hybridfahrzeuge nur in geringen Stückzahlen gefertigt, insbesondere in Japan allerdings mit deutlichen Zunahmen; von dort ist auch geplant, solche Fahrzeuge in Europa anzubieten, zunächst mit einem Absatzziel von wenigen tausend Stück pro Jahr. Mittelfristig könnte das Konzept wichtiger werden, die Verbrauchsvorteile gegenüber konventionellen Antrieben sind jedoch begrenzt.

Alternative Treibstoffe

Wasserstoff

Wasserstoff wird vor allem für den Einsatz bei Brennstoffzellen vorgesehen, als Energiezwischenträger dazu wird auch der Einsatz von Methanol entwickelt. Der Gesamtwirkungsgrad eines wasserstoffbasierten Systems wird für die nähere Zukunft als leicht schlechter als bei Dieselantrieb angesetzt, bei methanolbasierten Systemen noch etwas ungünstiger. In beiden Fällen wird derzeit praktisch ausschließlich von Erdgas als primärenergetischer Basis ausgegangen. Hinsichtlich der klimarelevanten Emissionen des Gesamtprozesses liegt damit die wasserstoffgestützte Brennstoffzelle nahe dem herkömmlichen Dieselantrieb, die methanolbasierte Brennstoffzelle nahe dem herkömmlichen Ottomotor. Allerdings dürfte die Entwicklung noch Verbesserungen bringen. In beiden Fällen ist, wie bereits dargestellt, auf absehbare Zeit von nur geringen Verbreitungsumfängen auszugehen.

Abweichend von dem mehrheitlich (DaimlerChrysler, Ford, General Motors, Toyota u.a.) verfolgten Verwendungspfad über Brennstoffzellen stellt BMW die Direktverbrennung von Wasserstoff in einem prinzipiell herkömmlichen Verbrennungsmotor heraus. Interessant ist dabei die örtliche Emissionsarmut des aus Wasser und – prozessabhängig – einem geringfügigen Stickoxidanteil bestehenden Verbrennungsprodukts. Den niedrigen örtlichen Schadstoffemissionen gegenüber zu stellen sind die im Gesamtprozess anfallenden CO₂-Emissionen, die – wie auch der gesamte Verbrauch von fossilen Primärenergieträgern – höher anzusetzen sind als z.B. bei direktem Erdgaseinsatz im Fahrzeugmotor.

Das insbesondere verbal vorgetragene Konzept, anstelle fossil basiertem alternativ durch Elektrolyse von Wasser gewonnenen Wasserstoff einzusetzen, führt zunächst bei gegebenem Kraftwerksmix zu einer Verschlechterung des Systemwirkungsgrades um etwa den Faktor vier, d.h. zu einer Erhöhung der Einsatzmenge von primären Energien auf das Vierfache. Die geringe energetische wie auch kostenseitige Attraktivität dieser Alternative liegt auf der Hand. Der weitergehende Vorschlag, die Elektrolyse auf regenerativ erzeugten Strom zu basieren, führt zu weiteren Wirkungsgradverschlechterungen und Kostenerhöhungen, im Falle photovoltaischer Stromerzeugung können die Gesteungskosten des anschließend per Elektrolyse erzeugten Wasserstoffs als 50 bis 100 mal so hoch wie bei Wasserstoffbereitstellung auf Erdgasbasis angesetzt werden. Eine mittelfristige Durchsetzung dieses Verfahrens über die Demonstration des Prinzips hinaus ist daher nicht zu erwarten.

Kasten 1 Fortsetzung

Bio-Kraftstoffe

Seit dem Bericht des Club of Rome über „Limits to Growth“ (1972) und den danach folgenden Ölpreiskrisen hat man sich um alternative flüssige Kraftstoffe auf regenerativer Basis bemüht. Da biologische Kohlenstoffträger üblicherweise als in der Verbrennung CO₂-frei bilanziert werden unter der Annahme einer Rezyklierung des Kohlenstoffs im biologischen Kreislauf, sind solche Energieträger auch im Rahmen der aktuellen klimapolitischen Debatte von besonderem Interesse. Praktisch entwickelt und angewendet werden Bio-Alkohole, insbesondere auf der Basis von Zuckerrohr, die Ottokraftstoffe substituieren können, sowie Rapsmethylester (RME), das an die Stelle von Dieselmotorkraftstoff treten kann.

Während die technische Verwertbarkeit dieser Kraftstoffe bei begrenzt erforderlichen und verfügbaren motortechnischen Anpassungen als gegeben anzusehen ist, liegen die Gesteungskosten derzeit noch deutlich höher als bei rohbasierten Kraftstoffen. Zudem limitiert die Flächenkonkurrenz gegenüber anderen Nutzungen die mögliche Produktion von Biotreibstoffen. Insgesamt ist deshalb davon auszugehen, dass mit überschaubaren staatlichen Stützungen (Zuschüsse bzw. Steuer- verzichte) nur deutlich begrenzte Umfänge solcher Treibstoffe verfügbar gemacht werden können.

Weitere Möglichkeiten

Neben den flüssigen Treibstoffen kommen auch gasförmige Energieträger in Frage. Bei Erdgas kompensieren sich unter Klima- gesichtspunkten der etwas erhöhte Primärenergieeinsatz und die etwas geringere Kohlenstoffhaltigkeit weitgehend, und die geringeren Emissionen toxischer Luftschadstoffe werden – bei gleicher Besteuerungsgrundlage – mit etwas höheren Kosten erkaufte. Insbesondere bei Stadtbussen, bei denen auch das Volumen des Kraftstofftanks wie auch die Sicherheitsvorkehrungen weniger Probleme erzeugen als bei PKW, kann ein solcher Antrieb als gegenüber dem herkömmlichen Dieselantrieb ökologisch vorteilhaft angesehen werden.

Bei Einsatz gleichwertiger Brenngase aus biotischen Ausgangsstoffen (Biogas, Klärgas etc.) kann entsprechend der üblichen Bilanzierung von einer Verbrennung ohne (zusätzliche anthropogene) CO₂-Emission ausgegangen werden, was solche Gase aus Klimaschutzgründen interessant macht. Kostengünstig sind solche Gase allerdings nur in verhältnismäßig geringen Mengen verfügbar oder verfügbar zu machen.

Allgemeine technische Verbesserungen

Außer den grundsätzlichen Ansätzen beim Übergang zu neuartigen Antriebskonzepten oder nicht herkömmlichen Treibstoffen wird seit jeher an der technischen Verbesserung des Automobils und seiner Komponenten gearbeitet; Effizienzerhöhungen, insbesondere auch bei der Energieeffizienz, stehen dabei seit langem an vorderer Stelle, während allerdings auch andere Verbesserungen regelmäßig verfolgt werden, in deren Gefolge der spezifische Kraftstoffverbrauch ansteigt.

Obschon die Fahrzeuge inzwischen generell einen sehr hohen technischen Entwicklungs- und Reifegrad aufweisen, kann auch künftig von signifikanten Verbesserungspotentialen ausgegangen werden.

Redimensionierung der Fahrzeuge

Ein völlig anderer Ansatz, den Verbrauch der Fahrzeuge zu reduzieren, besteht darin, in die Dimensionierung des Fahrzeugs einzugreifen, sie nach unten hin zu redimensionieren. Dabei lassen sich vor allem zwei Ansätze unterscheiden:

„Stadtautos“

Fahrzeuge, die insbesondere für städtisch geprägten Kurzstreckenverkehr und eine geringe Zuladung von Personen und Gütern optimiert sind, werden kleiner, leichter und schwächer motorisiert ausfallen als die üblichen (großen und schweren, stark motorisierten) Universalfahrzeuge. Für solcherart ausgelegte „Stadtautos“ lässt sich ein deutlich geringerer streckenbezogener Treibstoffverbrauch erreichen. Es liegt auf der Hand, dass seitens der fahrzeugherstellenden Industrie Interesse an solchen Fahrzeugen besteht, soweit sie Aussicht bieten, wegen ihrer eingeschränkten Universaltauglichkeit zusätzliche Absatzmöglichkeiten zu eröffnen. Im Zuge der zunehmenden Segmentierung der Fahrzeugmärkte wird man von einer Ausweitung des in geringem Umfang bereits bestehenden Segments ausgehen können.

Allgemeines Downsizing

Generell bestimmen die Fahrzeugmasse und der Motorhubraum sehr stark den Energieverbrauch. Die Fahrzeugmasse wird wiederum einerseits von der Fahrzeuggröße und andererseits von den Komfort- und Sicherheitsanforderungen bestimmt. Alternativ zu einer Dimensionierung auf den Stadt- und Kurzstreckeneinsatz hin könnte unter dem Motto „Kappen von Spitzen“ die Auslegung stärker auf die Fahrzeuggröße „untere Mittelklasse“ und hinsichtlich der Motorauslegung auf die im allgemeinen Verkehr dominierenden Betriebszustände erfolgen, unter Abschneidung von selten benötigten Spitzenanforderungen. Eine entsprechende Beschneidung von Hubraum und maximaler Motorleistung (sowie damit verbunden Beschleunigung und Endgeschwindigkeit) würde verbrauchsmindernd wirken, praktisch ohne die Universaltauglichkeit aufzuheben. Durch den Einsatz hochfester leichter Materialien gibt es grundsätzlich gute Chancen, die Fahrzeugmassen in allen Größenkategorien drastisch zu reduzieren, allerdings hemmen die Produktionskosten noch eine solche Entwicklung. Eine weitere Einsparmöglichkeit für den Energieverbrauch bestünde darin, den Umfang der Ausstattung und Zusatzaggregate zu reduzieren (z.B. Klimaanlage, elektrische Fensterheber und dergleichen.). Ein besonderes Interesse der Nachfrager und der Fahrzeugindustrie an der Bereitstellung solcher Fahrzeuge ist allerdings nicht zu erkennen.

Somit können aus gegenwärtiger Sicht für ein Entwicklungsszenario folgende Komponenten und deren Größenordnungen als plausibel angesetzt werden:

- Sofort einsetzend: zunehmende Verbreitung von „Stadtautos“ mit deutlich unterdurchschnittlichen Verbrauchswerten, bis zu Anteilen an den Neuzulassungen im mittleren bis höheren einstelligen Prozentbereich.
- Etwa ab 2005: Eindringen neuartiger Antriebe und Kraftstoffkonzepte, langsam steigend, zunächst bis zu niedrigen einstelligen Prozentanteilen bei den Neuzulassungen.
- Ebenfalls etwa ab 2005: regelmäßige Beimischung regenerativer Energieträger zu den Kraftstoffen, schrittweise steigend, zunächst bis zu niedrigen einstelligen Prozentwerten am Energieverbrauch.
- Fortsetzung des Trends der letzten Jahre: Erhöhung der Energieeffizienz mit einer Absenkung der spezifischen Verbrauchswerte um 1 Prozent von Neufahrzeugjahrgang zu Neufahrzeugjahrgang.

Zusammengenommen macht dies durchaus nennenswerte Veränderungen aus, bei den spezifischen CO₂-Emissionen der Neufahrzeuge immerhin bis 2008 etwa eine Reduktion um ein Viertel gegenüber dem Wert von 1995. Allerdings scheint eine fundamentale Umstellung bei den in zehn oder fünfzehn Jahren neu zugelassenen PKW gegenüber heute recht unwahrscheinlich. Selbstverständlich könnten einzelne der Komponenten auch stärker ausgeprägt werden, während sich möglicherweise für andere die hier genannten Umfänge nicht verwirklichen lassen werden. Insgesamt dürfte der geschilderte Pfad unter den gegenwärtigen Bedingungen eine nicht ungünstige Variante beschreiben, zumal hierbei auf eine Modellierung möglicherweise ebenfalls zunehmender verbrauchsstärkerer PKW-Segmente verzichtet wird: Zwar gibt es wenig Gründe, auch hierzulande wie in den USA eine größere Verbreitung von Pick-up-Fahrzeugen zu erwarten, eine Befestigung der Trends zu Großraumlimousinen, zu sportlichen Fahrzeugen sowie zu straßentauglichen Allradantrieblern dürfte dagegen nicht unwahrscheinlich sein.

Bei der Umsetzung der Einsparpotentiale der Neufahrzeuge treten allerdings zwei hemmende Strukturen auf, die oft unterschätzt werden. Zunächst ist auf die Differenz zwischen der Auslegung der Neufahrzeuge und jener der Bestandsflotte hinzuweisen, die sich aus dem schrittweisen Eindringen der neuen Fahrzeuge in den Bestand und der ebenfalls schrittweisen Stilllegung älterer Bestandsfahrzeuge ergibt. Auch ohne Annahme einer schrittweise steigenden Gesamthaltedauer der PKW, wie in manchen Untersuchungen eingestellt, ergeben sich daraus nennenswerte Verzögerungen in der Umsetzung neuer Konzepte, vgl. [Kasten 2](#). Dies mindert naturgemäß die kürzerfristig erzielbaren Effekte.

Kasten 2

Verzögerungen bei der Umsetzung neuer Technologien

Neue technische Lösungen benötigen strukturell eine geraume Zeit, bis sie sich im Flottenbestand durchgesetzt haben. Zunächst ist ein Entwicklungsvorlauf ohne praktische Auswirkung auf das gesamte Verkehrssystem und beispielsweise den Energieverbrauch zu berücksichtigen, in der die neuen Lösungen ausgearbeitet, auf ihre praktische Verwertbarkeit geprüft und für einen serienmäßigen Einsatz ausgestaltet werden. Je nach Sperrigkeit der Aufgabenstellung kann dieser Zeitraum sehr lang sein, bei günstigen Umständen im Entwicklungsprozess sich allerdings auch auf wenige Jahre beschränken.

Soweit ein technisches Konzept in praktisch verwertbarer Form vorliegt, sind vor allem zwei Strukturmerkmale für den Zeitbedarf zur Durchsetzung der Lösung maßgeblich. Zum einen wird aufgrund der durchschnittlich 10–12-jährigen Haltbarkeit der PKW jährlich nur ein kleiner Teil der Fahrzeuge ersetzt, bzw. darüber hinaus angeschafft. Zum Zweiten werden Innovationen typischerweise zunächst bei einzelnen Modellen, dann bei zunehmend vielen Modellreihen und erst nach längerer Zeit mehr oder weniger allgemein verwendet; sie sind also zunächst auch bei den Neufahrzeugen eher selten anzutreffen. Für eine Gesamtbewertung ist darüber hinaus nicht direkt die Flottenzusammensetzung bestimmend, sondern die Fahrleistungen der einzelnen Fahrzeuge bzw. Flottensegmente.

Für die genannten Verzögerungsstrukturen lassen sich folgende quantitative Veranschaulichungen vortragen. Bezüglich der Alterszusammensetzung künftiger PKW-Flotten kann man unter Absehung von wirtschaftszyklischen Verzerrungen ganz gut von den Vergangenheitswerten ausgehen: Die „Überlebensquoten“ von PKW ändern sich nur mehr wenig. Der folgenden Abbildung (Abb. 11) wurden die Stilllegungs- bzw. „Überlebensquoten“ von PKW von drei Jahren (1994–1997 gemittelt) zu Grunde gelegt. Bei Generalisierung dieser „Überlebensquoten“ ergeben sich die in der Abbildung dargestellten Alterszusammensetzungen der PKW-Flotte zur jeweiligen Jahresmitte. Mit lediglich geringer Fehlweisung können diese Werte auch als Jahresdurchschnitte Verwendung finden. Gezeigt werden zwei Fälle, die das Feld möglicher Entwicklungen gut abgreifen, nämlich (a) der Fall mit konstanten jährlichen Zulassungsgrößen – und somit auch einer auf längere Sicht stationären Flotte. Die andere Verteilung (b) ergibt sich, wenn jeder neu zugelassene Jahrgang die Vorjahreszahl um zwei Prozent übertrifft – und entsprechend auf längere Sicht auch die gesamte PKW-Flotte jährlich um zwei Prozent ansteigt. In beiden Fällen ist der Bestand bei den jüngeren Jahrgängen konzentriert, wobei aber doch auch ältere Fahrzeuge, etwa mit acht oder mehr Jahren einen erheblichen Anteil ausmachen. Der jeweils aktuelle Jahrgang ist bis zur Jahresmitte verständlicherweise etwa zur Hälfte aufgebaut und jahresdurchschnittlich auch nur etwa zur Hälfte am Verkehr beteiligt. Bei systematischer Flottenausweitung verschiebt sich das Altersspektrum in die jüngeren Jahrgänge; im gewählten Beispiel eines jährlichen Zuwachses um zwei Prozent ergeben sich bis zum Alter von sieben Jahren stärkere sowie in den höheren Altersstufen schwächere Flottenanteile.

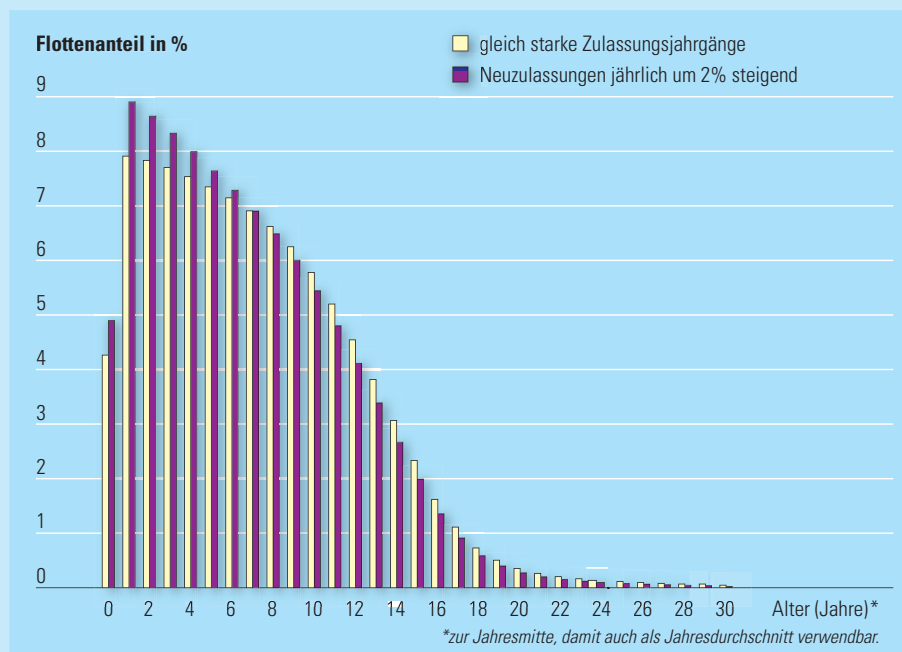


Abb. 11: Standardisierte Altersverteilung von PKW-Flotten bei konstanten und bei jährlich um 2 Prozent steigenden Neuzulassungen.

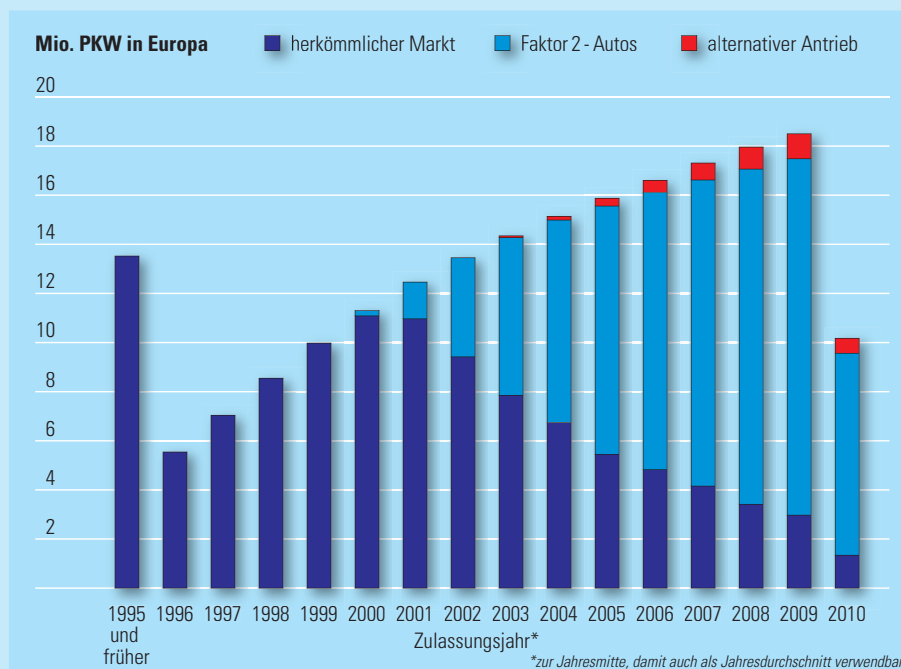
Kasten 2
Fortsetzung

Abb. 12: Alterszusammensetzung der europäischen PKW-Flotte im Jahr 2010 bei raschem Übergang zu zu stark verbrauchsreduzierten Modellen; Szenarienergebnisse. (Die halbe Säulenhöhe für das Jahr 2010 ergibt sich aus dem Stichtag 1. Juli, d.h. zum Halbjahr.)

Als Beispiel für das schrittweise Einsickern neuer Techniken in den Bestand kann die obige Abbildung (Abb. 12) dienen. Dort wird für Europa hypothetisch unterstellt, dass ab dem Jahr 2000 zwei Ansätze greifen, nämlich zum einen ein Übergang auf PKW mit halbierten Verbrauchswerten, zum anderen der Einsatz alternativer Antriebe. Für die erste Innovation wird beispielhaft unterstellt, dass eine sehr schnelle Marktdurchdringung bei den Neufahrzeugen erreicht werden kann, so dass bereits im Jahre 2008 80 Prozent der Neufahrzeuge diese Merkmale aufweisen; bei den Fahrzeugen mit alternativem Antrieb wird unterstellt, dass bis 2008 diese Fahrzeuge 5 Prozent der Neuwagen ausmachen. Beide Annahmen sind offensichtlich durchaus hoch, das heißt – wenn man eine solche Entwicklung begrüßt – recht optimistisch. Selbst in diesem Fall jedoch machen PKW mit herkömmlicher Technik auch noch im Jahre 2010 mehr als die Hälfte der Flotte aus (knapp 55 Prozent), wogegen Fahrzeuge mit alternativem Betrieb zu lediglich zwei Prozent an der gesamten Flotte beteiligt sind.

Selbst ein sehr rascher Übergang zu neuen technischen Lösungen bei Neufahrzeugen benötigt also im PKW-Verkehr erhebliche Umsetzungszeiten, bis nennenswerte Wirkungen erzielt werden.

Schließlich tragen die Fahrzeuge nach Maßgabe der jeweiligen Fahrleistungen zu den mittleren Verbrauchswerten bei. Insofern sowohl bei ausgesprochenen Stadtautos als auch – zumindest zunächst – bei Fahrzeugen mit neuartigen Antriebskonzepten im Mittel unterdurchschnittliche Jahresfahrleistungen zu erwarten sind, ist in der Folge mit einer noch einmal etwas reduzierten Durchschlagskraft dieser Konzepte zu rechnen.

Im Ergebnis führt unter Trendbedingungen die weiterhin – bei erhöhtem PKW-Bestand – ausgeweitete Fahrleistung aller PKW zusammen mit den – fahrleistungsgewichtet – eher langsam sinkenden spezifischen Verbrauchswerten dazu, dass sich die Klimlasten aus dem PKW-Verkehr zunächst nur wenig ändern, mittelfristig langsam absinken. Wieweit die durch besondere Bedingungen im Jahr 2000 deutlichere Absenkung von Dauer ist und den gesamten Entwicklungspfad um einige Prozentpunkte nach unten verlegt, lässt sich noch nicht klar ausmachen.

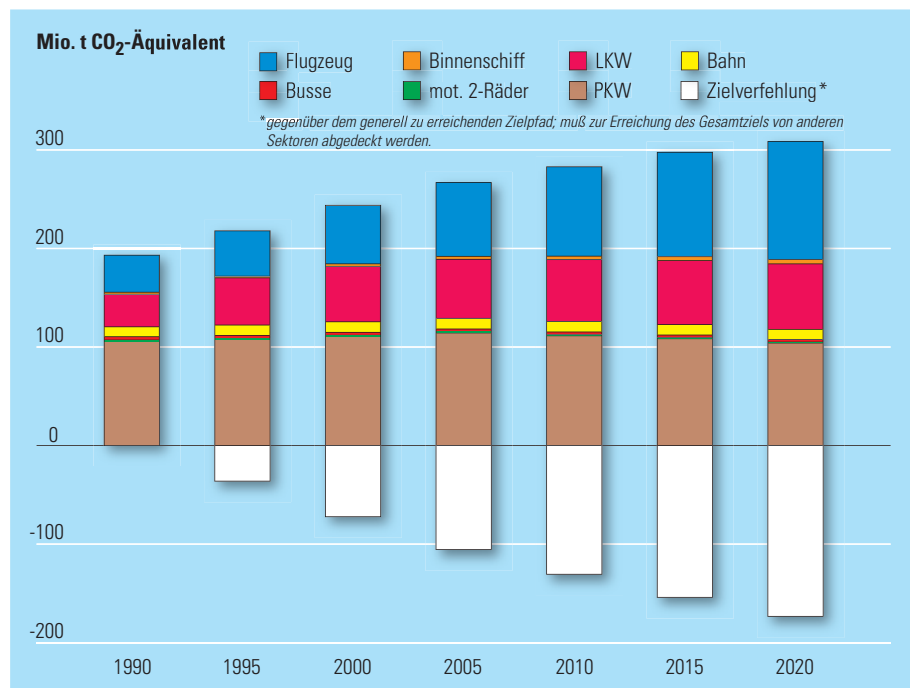
4 Einordnung unter Klimaschutzgesichtspunkten

Wenn, wie zunächst zu erwarten, die Klimabelastungen aus dem PKW-Verkehr während der kommenden Jahre nur wenig Änderungen, nach 2005 sogar eine leichte Abschwächung erfahren, so führt der weiterhin steigende fossile Energieverbrauch im Straßengüterverkehr und im Luftverkehr – hier entgegen der üblichen klimapolitischen Ausblendung berücksichtigt – zu einer zunehmenden Gesamtbelastung aus dem Verkehr, entgegen dem Ziel einer Senkung der Klimabelastungen. Wie die Abb. 13 zeigt, können dabei erhebliche Zielverfehlungen gegenüber dem generellen Zielkorridor zustande kommen. Als Zielverfehlung muss dabei auch genannt werden, dass der PKW-Verkehr keine den Gesamtzielen für 2005 und 2008/2012 proportionalen Minderungen erreicht.

Diese Entwicklung kann unterschiedlich interpretiert und behandelt werden. Zunächst wird man zwar künftig nicht dauerhaft von einer vollen Berücksichtigung des grenzüberschreitenden Luftverkehrs absehen können, hinsichtlich der genauen Abgrenzung und der Gewichtung bestehen jedoch nach wie vor Unklarheiten. Die – hier unter einem mittleren Ansatz bezüglich des Luftverkehrs – zu erwartenden Zielverfehlungen des Verkehrs gegenüber dem generellen Zielpfad kann man entweder durch zusätzliche Maßnahmen vermeiden oder durch erweiterte Klimaentlastungen in anderen Bereichen kompensieren, indem man national eine Art Bubble-Konzept zwischen den Sektoren realisiert. Selbstverständlich können auch beide Strategien gemischt angewendet werden. Aufgrund der Höhe der in diesem Fall erforderlichen kompensatorischen Entlastungen in anderen Feldern kann eine ausschließliche Überwälzung der Belastungsreduktionen auf die anderen Sektoren allerdings als wenig aussichtsreich eingeschätzt werden: Auch in den anderen Sektoren sind bereits ohne zusätzliche Aufgabenstellung erhebliche Anstrengungen erforderlich, um die jeweiligen sektoralen Zielbeiträge proportional zum Gesamtziel zu sichern.

Zur Veranschaulichung der Bandbreite möglicher Konkretisierungen wurden hier zwei denkbare pointierte Ansätze szenarisch formuliert – selbstverständlich könnten auch andere Szenarien mit entsprechend abweichenden Konsequenzen gebildet werden:

Abb. 13:
Trendszenario



- Im Szenario „Proportionalität“ wird unterstellt, dass bis zum Jahr 2010 die Klimabelastung auch innerhalb des Verkehrs auf ein Maß reduziert werden soll, das der in Kyoto und Manchester vereinbarten generellen Minderungsquote für Deutschland entspricht, nämlich minus 21 Prozent gegenüber 1990 (der dort genannte zeitliche Zielkorridor von 2008–2012 wird hierbei durch das mittlere Jahr 2010 abgebildet). Zeitlich danach soll für den Verkehr in gleichem Maß wie für die anderen Sektoren eine Fortsetzung des allgemeinen Minderungspfades für die Klimabelastungen gelten. Eine solche Vorgabe würde wegen der seit 1990 zielwidrigen Entwicklung im Verkehrssektor naturgemäß zunächst starke Veränderungen im Verkehr selbst erfordern.
- Im Szenario „Kompensation“ wird demgegenüber davon ausgegangen, dass dem Verkehr die bislang (ausgedrückt durch die Werte für 1997) erreichten Belastungshöhen auch weiterhin eingeräumt werden; dabei wird unterstellt, dass die bislang im Verkehrssektor erreichten und künftig weiter anwachsenden Zielverfehlungen durch verstärkte Klimaentlastungen in anderen Sektoren kompensiert werden (Bubble-Konzept). In diesem Fall wären die Maßnahmenanforderungen im Verkehr selbst deutlich geringer, während sie möglicherweise an anderer Stelle ein kritisches Maß erreichen könnten.

Neben der intersektoralen Aufteilung zwischen dem Verkehrssektor und den anderen Bereichen lassen sich auch intrasektoral innerhalb des Verkehrssektors die angestrebten Zielbeiträge unterschiedlich verteilen. Neben einer gleichmäßigen Verteilung entsprechend dem Gewicht der Verkehrsträger über einheitliche Absenkungsraten lassen sich auch andere Verteilungsmuster begründen. Unter dem Gesichtspunkt der Durchsetzbarkeit scheint es uns plausibel, die unterschiedliche Eigendynamik der verkehrlichen Teilsysteme zu berücksichtigen. Man könnte dies etwa so formulieren, dass die besonders wachstumsstarken Teilsysteme einerseits als solche anerkannt werden, indem dafür auch künftig etwas überdurchschnittliche Wachstumsraten akzeptiert werden, dass andererseits jedoch die im Trend zu erwartenden Wachstumsraten dort auch etwas stärker gedämpft werden, etwa dahingehend, dass die dynamischeren Systeme zwar stärker in ihrem Wachstum reduziert werden, gleichzeitig jedoch noch immer einen gewissen Wachstumsvorsprung aufrechterhalten. Dies führt zu der Über-

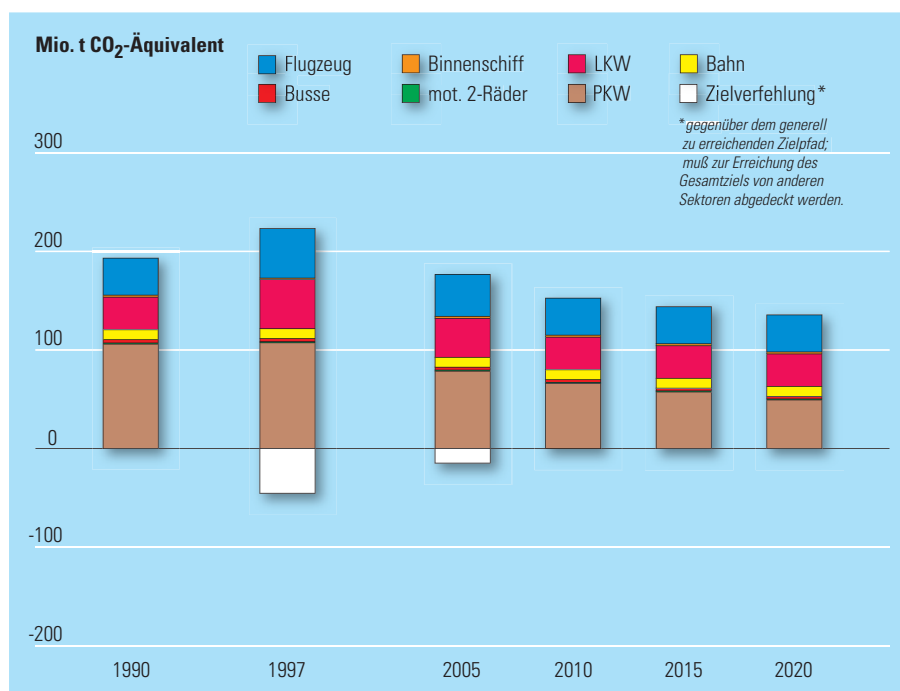


Abb. 14:

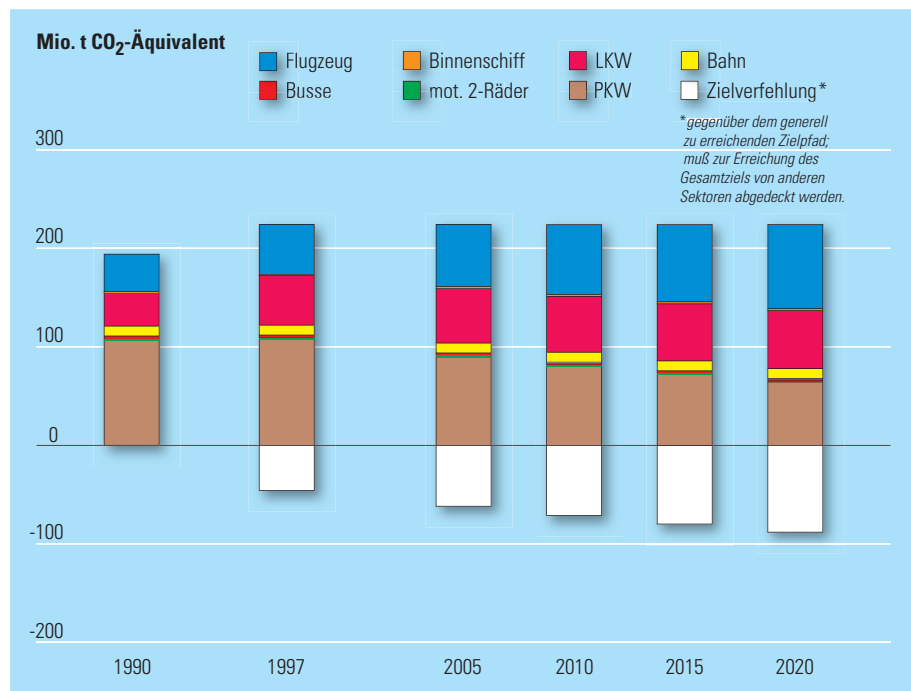
Szenario „Proportionalität“

legung, dass – bei Beschränkung auf die aus Klimagründen maßgeblichen Teilsysteme – im Luftverkehr die expansiven Tendenzen bei der künftigen Klimabelastung nicht so stark eingedämmt werden können wie bei den anderen Systemen, sowie im Straßengüterverkehr weniger als im PKW-Verkehr. (Vom PKW-Sektor könnten möglicherweise politische Maßnahmen für eine stärkere Absenkung der PKW-Emissionen als der übrigen Verkehrssektoren als ungerecht empfunden werden, andererseits fällt ja auch der PKW-Sektor gegenüber den Emissionsabsenkungen in den stationären Sektoren zurück.)

Eine mögliche Verteilung im Szenario „Proportionalität“ zeigt Abb. 14. Um insgesamt im Verkehr bis 2010 die Absenkung der Klimalasten um 21 Prozent gegenüber 1990 zu erzielen, könnte gegenüber den Trendwerten für 2010 eine Minderung der Klimalasten um 60 Prozent im Luftverkehr, um 50 Prozent im Straßengüterverkehr sowie um 40 Prozent im motorisierten Individualverkehr kombiniert werden; gegenüber den 1997 bereits realisierten Werten würde dies eine Minderung um rd. ein Viertel im Luftverkehr, ein Drittel im LKW-Verkehr sowie um knapp 40 Prozent im PKW-Verkehr bedeuten. Dies bedeutet selbstverständlich keine identische Entwicklung im Verkehrsablauf selbst: Soweit durch zusätzliche Effizienzgewinne Spielräume eröffnet werden, könnte der Verkehrsumfang im Szenario schwächer abgesenkt oder auch erhöht werden. Bei den im Szenario „Proportionalität“ erforderlichen Absenkungen der Klimaemissionen dürften jedoch technische Maßnahmen allein für eine Zielerfüllung nicht ausreichen.

Soweit man durch zusätzliche Deckungsbeiträge anderer Sektoren im Szenario „Kompensation“ lediglich ein Ansteigen der Klimalasten aus dem Verkehr zu vermeiden hat, stellen sich erheblich geringere Anforderungen. In einer möglichen Kombination könnte etwa dem Luftverkehr durchaus noch eine weitere deutliche Expansion auch der Klimalasten eingeräumt werden, wenngleich gegenüber der Trendentwicklung bis 2020 um annähernd ein Viertel gekappt; im Straßengüterverkehr würde ein nur mehr geringes weiteres Anwachsen der Klimalasten akzeptabel sein, bei einer Reduktion gegenüber der Trendentwicklung bis 2010 um etwa 10 Prozent. Im PKW-Verkehr

Abb. 15:
Szenario „Kompensation“



schließlich würde gegenüber dem Trendwert für 2010 ähnlich wie gegenüber dem gegenwärtigen Belastungsumfang eine Abminderung um rd. ein Viertel ausreichen.

Wie auch die Abb. 15 zeigt, muss bei diesem Ansatz ein fortlaufend ansteigender CO₂-Betrag durch zusätzliche Klimaentlastungen in anderen Bereichen übernommen werden. Diese zusätzlich zu mindernde CO₂-Menge bedeutet in jenen Bereichen eine höhere prozentuale Absenkungsrate als dem generellen Zielpfad entspricht.

5 Schlussfolgerungen und Handlungsbedarfe

Der PKW-Verkehr hat sich hinsichtlich seines Energieverbrauches und seiner CO₂-Emissionen zum dominierenden Subsektor im Sektor Verkehr entwickelt, wenngleich der Verkehr insgesamt (und natürlich dann auch der PKW-Subsektor) in absoluten Zahlen weniger Klimaemissionen verursacht als andere Sektoren. Gleichwohl gibt es im Verkehr einen hohen Handlungsdruck, der vor allem auf den bisherigen und weiter prognostizierten ungünstigen Emissionsverlauf im Straßengüterverkehr und im Luftverkehr zurückgeht. Doch auch der PKW-Verkehr als stärkster Subsektor erreicht keine zu den Gesamtzielen proportionale Minderung. Im Kontext eines umfassenden Klimaschutzes wird es erforderlich, auch Maßnahmen zu einer forcierten Reduzierung der PKW-Emissionen über den sich im Trendverlauf abzeichnenden leichten Rückgang der CO₂-Emissionen umzusetzen (s. a. Klimabericht der Bundesregierung). Der Umfang eines längerfristigen Handlungsdruckes (über die Kyoto-Zieljahre hinaus) hängt wesentlich davon ab, ob und in welchem Umfang im Verkehrssektor selbst weitere Minderungsziele gesetzt werden und wie weit es gelingt, für die bislang von der Klimapolitik noch nicht angemessen mit Minderungsmaßnahmen angegangenen Subsektoren Straßengüterverkehr und Luftverkehr Emissionsabsenkungen oder zumindest eine Dämpfung des Emissionsanstiegs zu erreichen. Bei beiden Verursachern nehmen – im Unterschied zum PKW-Bereich – die Treibhausgasemissionen noch stark zu, dennoch hat die Bundesregierung dieser Problematik weniger Aufmerksamkeit gewidmet als den PKW. Geeignete Strategien im Güterbereich wären eine Stärkung des Schienenanteils im Fernverkehr, z.B. durch wirksames Anlasten der Externkosten mit Hilfe von angemessenen Straßenbenutzungsgebühren (Road-Pricing), im Luftverkehr wäre vor allem an eine wirksame Besteuerung des Flugtreibstoffes (Kerosin) zu denken.

In den vergangenen Jahrzehnten haben sich die spezifischen (streckenbezogenen) Verbrauchswerte bzw. CO₂-Emissionen der PKW nur in relativ geringem Umfang verändert; festzuhalten bleibt, dass der starke Verkehrszuwachs die wesentliche treibende Kraft für die Zunahme des Energieverbrauches und der Gesamtemissionen war. Die Verbesserungen der spezifischen Werte seit den achtziger Jahren haben zunächst die Verschlechterungen der sechziger und siebziger Jahre wieder ausgeglichen, den Effekt des Verkehrszuwachses hinsichtlich der resultierenden Verbrauchs- und Emissionssummen jedoch nicht kompensieren können.

Im Trendverlauf ist hinsichtlich der Emissionen der PKW eine Dämpfung zu erwarten. Das aktuelle Shell-Szenario von 1999 und eine ebenfalls 1999 erschienene Prognose von Prognos/EWI wie auch die entsprechenden Erwartungen im Klimabericht der Bundesregierung vom 18.10.2000 gehen von einer relativ günstigen Entwicklung im PKW-Bereich aus: „Bei PKW wird der verbrauchserhöhende Effekt der steigenden Fahrleistungen (20 % von 1995 bis 2020) mittelfristig kompensiert.“ Die spezifische Verbrauchsreduzierung wird dabei im gleichen Zeitraum mit 30 Prozent beziffert. Prognos/EWI gehen dabei von einer kontinuierlichen Fortsetzung der Ökosteuerpolitik mit 6 Pfg. jährlicher Erhöhung aus. Insgesamt werden jedoch unter Trendbedingungen im gesamten Verkehrsbereich – vor allem aufgrund der Wachsdynamik im LKW- und im Luftverkehr – noch deutliche CO₂-Zunahmen bis mindestens 2015 erwartet.

Diese Zeiträume und die auch die kürzeren Kyoto-Ziele sind jedoch nur Etappen auf dem Weg eines nachhaltigen Klimaschutzes. Mittel- bis langfristig geben klimapolitische Überlegungen für notwendige Reduktionen um 50 und 80 Prozent die Größenordnungen an, in denen gedacht werden muss.

Wie eingangs erläutert, stellt sich der PKW-Subsektor relativ günstiger dar als der Straßengüter- und vor allem der Luftverkehr, ohne jedoch eigene durchschlagende Minderungen zu erzielen. In politischer Hinsicht stellt sich der Handlungsbedarf vielschichtig dar: Einerseits schafft die Entwicklung der gesamten Verkehrsemissionen die größten Probleme im Bemühen um eine Reduzierung der CO₂-Emissionen Deutschlands (wie auch in anderen Regionen der Welt). Dabei bildet der PKW-Verkehr gegenwärtig den größten absoluten Sockel, jedoch mit abnehmender relativer Bedeutung. Es ist evident, dass an diesem Emissionssockel weiterhin gearbeitet werden muss.

Andererseits sind die Trends bereits relativ positiv, was die Legitimation verschärfter Maßnahmen gerade dort fragwürdig machen könnte. Dagegen sind in den gewichtigsten Subsektoren Güter- und Luftverkehr die Steigerungsraten eindeutig klimapolitisch unverträglich; die Verbrauchs- und Emissionstrends gehen klar in die falsche Richtung.

Im Straßengüterverkehr (und im klimapolitisch gesondert behandelten) Luftverkehr sind nachdrückliche Absenkungsmaßnahmen dringend geboten, es wurden jedoch weder von der Bundesregierung noch von der EU bisher politische Strategien dafür entwickelt. Aufgrund der bereits weitgehend ausgereizten motor- und fahrzeugtechnischen Gegebenheiten im LKW-Bereich werden allgemein keine großen Fortschritte zur Senkung des spezifischen Energieverbrauchs erwartet – um Einsparungen im Energieverbrauch zu erzielen, müsste also auf die Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr eingewirkt werden. Neben einer den Straßengüterverkehr verteuern den Anlastung der Externkosten kann eine stärkere Öffnung des Schienennetzes für konkurrierende Verkehrsanbieter geeignet sein, mehr Transporte von der Straße auf die Schiene zu ziehen. Wie an anderer Stelle bereits betont, wurde die Bedeutung des LKW-Verkehrs als Emittent von Treibhausgasen bisher von politischer Seite wenig thematisiert und mit Maßnahmenstrategien angegangen.

Im Luftverkehr wird die technische Entwicklung absehbar ebenfalls keine durchgreifenden Minderungen im spezifischen Energieverbrauch erbringen. Möglich erscheint im Trend eine Reduzierung um ca. 1 Prozent p. a. – bei Wachstumsraten von 5 bis 7 Prozent p. a. wird dieser Subsektor klar an absoluter und relativer Emissionsbedeutung zunehmen. Minderungen wären angesichts der Verursachung vor allem durch den Langstreckenverkehr, wo praktisch keine Verkehrsalternative zur Verfügung steht, nur durch eine Reduzierung der Verkehrsnachfrage erzielbar. Tatsächlich jedoch verfolgt die Politik entgegengesetzte Ziele: Im Gegensatz zum PKW-Verkehr und LKW-Verkehr, die bereits seit Jahrzehnten Gegenstand kritischer Diskussionen sind, werden die Wachstumserwartungen im Luftverkehr von einem breiten politischen Konsens unterstützt. Die Einführung wirksamer Reduktionsmaßnahmen ist nicht in Sicht; allenfalls zeichnet sich am Horizont der EU für Flüge innerhalb der Gemeinschaft ein Einstieg in die Kerosinbesteuerung ab – dies dürfte jedoch kaum vor dem Ende dieses Jahrzehnts gelingen und überdies nur derart moderate Steuersätze bringen, mit denen eine Nachfragedämpfung kaum zu erzielen sein wird. Auf den Start- und Landeflughäfen zu erhebende Emissionsabgaben auf den Ausstoß von Klimaschadstoffen im Reiseflug könnten zwar wirksame Instrumente sein, sie setzen jedoch ein weiträumig koordiniertes Vorgehen mindestens innerhalb Gesamt-Europas voraus, da ansonsten zahlreiche Umgehungsmöglichkeiten bestehen. (Hier sei nochmals erinnert, dass der Luftverkehr außerhalb der nationalen Grenzen bisher noch nicht adäquat von der Klimadiplomatie behandelt wird; siehe die Ausführungen oben.)

Sowohl bei LKW als auch bei Flugzeugen kommt grundsätzlich der Einsatz von kohlenstoffärmeren oder gar kohlenstofffreien Energieträgern in Frage. Die Optionen Erdgas (Methan) und Wasserstoff sind jedoch mit erheblichen Problemen verbunden, auf die an dieser Stelle nicht im Detail eingegangen werden kann. Am ehesten wäre noch denkbar, dass LKW mit Erdgas betrieben werden; die Mehrgewichte der Tanks und die aufwändigere Betankung erscheinen vertretbar. Umfassende technische Erfahrungen liegen aus dem Betrieb von Stadtbussen vor. Es wären jedoch erhebliche Infrastrukturinvestitionen erforderlich, und die Umstellung der Flotten im europäischen Maßstab dürfte kaum innerhalb eines Jahrzehntes gelingen. Damit entfällt diese Option in praktischer Betrachtung zumindest für den Zeitraum der Kyoto-Ziele. Mittel- bis längerfristig könnten allerdings entsprechende Infrastrukturen aufgebaut werden, für die technisch-ökonomische Realisierbarkeit von Lösungen gilt analog Kapitel 3.3, [Kasten 1](#).

Als Konsequenz aus den vorgenannten Überlegungen ist abzuleiten:

- Auf den PKW-Verkehr wird zukünftig mit hoher Wahrscheinlichkeit trotz seiner im Vergleich zum Straßengüter- und Luftverkehr relativ günstigeren Emissionsentwicklung ein stärkerer politischer Druck in Richtung auf weitere Minderungsbeiträge ausgeübt werden.
- Die im Trendverlauf zu erwartenden CO₂-Emissionsminderungen der PKW werden nicht ausreichen, zusätzliche Maßnahmen sind zu erwarten.

Es besteht eine Notwendigkeit zur politischen Rahmensetzung mit dem Ziel einer Stimulation der Nachfrage nach CO₂-ärmeren Fahrzeugen, wenn im PKW-Bereich wirksame Minderungen erzielt werden sollen. (Die politischen Prozesse in Deutschland und in der EU werden an anderer Stelle diskutiert.) Aufgrund der globalen Wirkungscharakteristik der Klimaemissionen ist dabei von Bedeutung, dass diejenigen Technologien gefördert werden, welche auch globale Akzeptanz finden. Das bedeutet, dass die durch die deutsche bzw. europäische politische Rahmensetzung forcierte Technik modellhaft für die anderen Märkte wirken muss.

Für die Forderung nach Senkung der CO₂-Emissionen ist noch als Rahmenbedingung von Bedeutung, dass die Anforderungen an die Umweltverträglichkeit der Fahrzeuge in weiteren Aspekten in den vergangenen Jahren fortlaufend zugenommen haben und sich weiter verschärfen werden (EURO IV ab 2005, evtl. weitere Stufen). Als Zielkonflikt für die Motorenentwicklung ist das Bemühen um die Senkung der Schadstoffemissionen (CO, CH, NO_x, bei Dieselmotoren: Rußpartikel) zu nennen; bessere Wirkungsgrade und damit niedrigere CO₂-Emissionen durch erhöhte Verbrennungstemperaturen bedeuten tendenziell eine verstärkte NO_x-Bildung. Der Motorbetrieb mit magerem Gemisch wäre zwar im Hinblick auf CO₂ vorteilhaft, hier sind jedoch die NO_x-Reduktionsmöglichkeiten bei der Abgasnachbehandlung ungünstiger. Im Hinblick auf die verbrauchsreduzierende Senkung des Fahrzeuggewichtes durch innovative Materialien kann es Konflikte mit den von der EU geforderten Recyclingquoten geben. Generell sind auch diejenigen Sicherheits- und Komfortanforderungen zu nennen, die sich gewichtserhöhend auswirken und damit dem Verbrauchsminderungsziel entgegenstehen.

Zusammenfassend ist anzumerken, dass in der technischen Entwicklung Zielkonflikten zwischen der Anforderung Klimaschutz und weiteren Entwicklungszielen bestehen können, welche den Entwicklern die Verfolgung des hier im Vordergrund stehenden Klimaschutzes erschweren. Vor allem bei den nicht-technischen Maßnahmen gibt es jedoch auch wichtige Kongruenzen zwischen Klimaschutz- und anderen Umweltzielen (z.B. Verkehrsvermeidung, -verlagerung, Reduktion Fahrgeschwindigkeit).

Minderungsansätze für Kohlendioxidemissionen im PKW-Sektor

In Anknüpfung an die Maßnahmenstrukturierung der Bundestags-Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ aus dem Jahre 1990 sind grundsätzlich folgende Ansätze zur Emissionsreduktion zielführend:

- Verkehrsvermeidung, d.h. Reduzierung der mit Klimaemissionen zurückgelegten Personenkilometer,
- Verkehrsverlagerung, d.h. Verlagerung von Personenkilometern (Verkehrsaufwand) auf emissionsgünstigere Verkehrsträger,
- verbesserte Ausnutzung der Verkehrsmittel, d.h. Reduzierung der Fahrzeugkilometer bei Beibehaltung des Umfangs der Personenkilometer,
- Optimierung des Verkehrsablaufes, d.h. Reduzierung der Emissionen je Fahrzeugkilometer durch Veränderung der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofile sowie durch optimierte Gangwahl,
- fahrzeugtechnische Maßnahmen, d.h. Reduzierung der Emissionen je Fahrzeugkilometer bei Neufahrzeugen durch konstruktive Innovationen der Automobilhersteller.

Der letztgenannte Ansatz lässt sich weiter wie folgt untergliedern:

- Veränderung der Flottenstruktur in Richtung auf kleinere, sparsamere Fahrzeuge,
- forcierte Einführung von Sparkonzepten ohne Veränderung der Fahrzeugformate.

Vor allem längerfristig von Bedeutung ist der Umstieg auf CO₂-ärmere Energieträger, was sowohl Entwicklungsaktivitäten der Automobilhersteller als auch Aktivitäten der Energieversorger, vor allem der Mineralölunternehmen, voraussetzt.

1 Interessenlage der Akteure und Konsequenzen für die Maßnahmenentwicklung

Die genannten Strategien dürften unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen auf Akzeptanzprobleme im Markt stoßen und daher nicht ohne weiteres von Seiten der Industrie umzusetzen sein. Als Beispiel:

- Ein gewichtiger Teil des Automobilmarktes präferiert aus Komfort-, Sicherheits- und Performancegründen größere, leistungsstärkere Fahrzeuge; die Zahl der größeren Fahrzeuge in der Flotte ist in den vergangenen Jahrzehnten fortlaufend angestiegen.
- Sparkonzepte ohne Einschränkung der Nutzereigenschaften erfordern tiefgreifende konstruktive Veränderungen, die zumindest aus Sicht der Hersteller die Produktionskosten erhöhen. Zwar hat Greenpeace mit dem SmILE-Konzept für die untere Kompaktklasse ein mit relativ geringem Entwicklungsaufwand realisiertes Fahrzeugkonzept vorgestellt, das neben Maßnahmen zur Gewichtsreduzierung und Luftwiderstandsoptimierung auf der Basis des Renault Twingo einen extrem hubraumkleinen Motor mit Complex-Aufladung vorsieht, bei dem kaum relevante Kostenerhöhungen im Herstellungsprozess zu erwarten sind. Diese Sicht wird jedoch von den Herstellern nicht geteilt, sie monieren die mangelnde Alltagstauglichkeit des Konzeptes.
- Am Beispiel des 3-Liter-Lupo von VW kann man ableiten, dass eine Reduzierung des spezifischen Verbrauches um ca. 40 Prozent zu nicht marktfähigen Mehrpreisen

führen kann. Die Sparstrategie der deutschen Hersteller zielt generell auf den Einsatz von Diesellaggregaten mit Direkteinspritzung als Antrieb sowie auf die Reduzierung der Fahrzeugmasse durch kostenaufwändige Materialien, ausgehend von relativ schweren Grundmodellen. Eine gewisse Ausnahme davon stellen die Aluminiummodelle von Audi dar, mit denen jedoch noch keine Verbrauchsreduzierung in durchschlagendem Umfang (z.B. 30–50 Prozent) erzielt wird.

- Ein kurzfristiger Ersatz der gängigen Energieträger durch kohlenstoffärmere Alternativen erforderte erhebliche Investitionen der Energieversorger, auch Veränderungen an den Antriebsaggregaten (mindestens für Neufahrzeuge, ggf. auch Umrüstung von Fahrzeugen im Bestand). Als CO₂-ärmerer Energieträger ist vor allem Erdgas zu nennen; die Nutzungseinschränkungen aufgrund des erforderlichen Drucktanks behindern jedoch dessen Marktgängigkeit. Als zwar spezifisch CO₂-reicherer Energieträger, jedoch aufgrund des motorischen Kraftstoffverbrauches ggf. in der Bilanz etwas CO₂-günstiger sind Diesel-Fahrzeuge einzuordnen (zumindest nach den heutigen Entwicklungsständen von Otto- und Dieselmotoren; dies könnte sich mit der Benzin-Direkteinspritzung ändern).
- Weitere alternative Energieträger, die tendenziell CO₂-günstig wirken können, sind Biogas bzw. Methanol auf der Basis von Biogas, Rapsöl bzw. RME, Wasserstoff aus regenerativer Erzeugung. Diese werden im Weiteren nicht betrachtet, da sie auf absehbare Zeit allenfalls eine Nischennutzung erreichen dürften. Für eine breitere Durchdringung hinderlich sind vor allem die Kosten der Bereitstellung.

Die hier nur kurz angerissenen Aspekte verdeutlichen, dass eine gegenüber dem Trendverlauf signifikant nach unten abweichende Entwicklung der CO₂-Emissionen aus dem PKW-Verkehr in Deutschland, die auf fahrzeugtechnischen und/oder kraftstoffseitigen Innovationen basiert, theoretisch möglich ist. Sie dürfte aber aus verschiedenen Gründen unter heutigen Rahmenbedingungen auf Akzeptanzprobleme im Markt stoßen und auf Seiten der Industrie und der Energieversorger erhebliche Kosten verursachen. Wenn also derartige Minderungspotentiale ausgeschöpft werden sollen, bedarf es der politischen Rahmensetzung und der Ausgestaltung entsprechender Politiken.

2 Sektorale und sektorübergreifende Maßnahmenstrategien

Im Abschnitt 2 wurde die Beteiligung des Verkehrs an den klimarelevanten anthropogenen Emissionen für die EU-Ebene und für Deutschland betrachtet. Dabei handelt es sich um die direkten Fahrzeugemissionen, die Emissionen aus der Bereitstellung der Energieträger, aus der Herstellung der Fahrzeuge sowie aus Herstellung und Unterhalt der Infrastruktur sind nicht einbezogen. Diese Vereinfachung erscheint dann vertretbar, wenn dadurch die Größenordnung des Verkehrsbeitrages nicht verzerrt wird. Ferner erscheint die Ausgrenzung der für die Funktionen des Verkehrssystems erforderlichen Bereiche dann zulässig, wenn über Maßnahmen innerhalb des Verkehrssektors bzw. von Subsektoren diskutiert wird. Geht es jedoch um Bilanzierungen über die Sektorgrenzen hinweg, können die angeführten Verflechtungen in den Produktionssektor hinein durchaus relevant sein. Wir bleiben hier jedoch bei der traditionellen Abgrenzung, beschränken also den Verkehrsbeitrag auf die direkten betrieblichen Emissionen bzw. Energieverbräuche.

In der vorliegenden Arbeit geht es sowohl um sektorinterne Minderungsschritte als auch um sektorübergreifende Ausgleichsprozesse. Als Beispiel für den ersten Typus von Maßnahmen seien Selbstverpflichtungen der PKW-Hersteller bzw. -Importeure oder gesetzliche Grenzwerte genannt. Der zweite, sektorübergreifende Maßnahmentypus entspricht im Grunde den Kyoto-Verpflichtungen, da diese ja auch nicht sektoriell differenziert sind. Auf die Gesamtemissionen kommt es an, nicht auf die Beiträge ein-

zelner Sektoren. Daher entspricht es am ehesten den Kyoto-Prinzipien – und auch dem Grundsatz der Kosteneffizienz –, die Emissionsminderungen dort vorzunehmen, wo dies am kostengünstigsten möglich ist. (Als Instrument zur optimalen Allokation kommen beispielsweise handelbare CO₂-Lizenzen infrage, s. u.)

Bisher werden in der nationalen Klimapolitik ausschließlich sektorale Maßnahmen angewandt: Die politisch formulierten Ziele richten sich auf Emissionsminderungen im Verkehrssektor, mit Instrumentierung bis hinunter auf die Ebene der Subsektoren (z.B. freiwillige Vereinbarungen für die durchschnittliche CO₂-Emission von Neuwagen eines Zulassungsjahrganges im Prüfzyklus). Bisher stellen die Maßnahmen noch kein konsistentes Paket dar, sie schöpfen die Handlungsmöglichkeiten nicht systematisch aus und sie sind nicht nach Kosten-Nutzen-Kriterien optimiert. Eine systematische Ableitung von Maßnahmenausprägungen mit klimapolitischen Zielsetzungen fehlt; die Wahl der Instrumente folgt ebenfalls keinem erkennbaren Konzept. Dies ist sicherlich auch dem Umstand geschuldet, dass die Bundesregierung es nicht vermocht hat, die Ziele der Klimapolitik mit anderen Politikzielen abzustimmen, wie u. a. bei der Neuformulierung der steuerlichen Absetzbarkeit von Arbeitswegen deutlich wurde. Auch in dem Verkehrsbericht 2000 „Integrierte Verkehrspolitik“ wird keine Abstimmung mit Klimapolitik ersichtlich.

Folgende Anforderungen an Minderungsmaßnahmen und Instrumente sind zu stellen:

- Sie sollen dafür sorgen, dass das prozentuale Minderungsziel erreicht wird.
- Sie sollen sicherstellen, dass die Minderung – gesamtwirtschaftlich – am kostengünstigsten erreicht wird.
- Sie sollen bei der Verteilung von Minderungslasten die einzelwirtschaftliche und soziale Verträglichkeit und Vertretbarkeit z.B. hinsichtlich des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit berücksichtigen.

Als Randbedingung wäre zu fordern, dass die Maßnahmen den Grundsätzen einer nachhaltigen Entwicklung entsprechen, d.h. ein integriertes Anforderungsbündel von ökologischen, ökonomischen und sozialen Kriterien erfüllen sollen. In diesem Zusammenhang wäre also danach zu fragen, wie mit den Minderungsmaßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen die übrigen (ökologischen, ökonomischen und sozialen) Nachhaltigkeitsanliegen befördert werden können. Zumindest wäre zu ermitteln und gesellschaftlich zu diskutieren, wie die Auswirkungen auf diese Bereiche sind.

Hinsichtlich der ökonomischen Effizienz von Maßnahmen bedeutet die Forderung nach Integration der nicht-klimatischen Aspekte, dass diese soweit als möglich monetarisiert und dann gesamthaft bewertet werden. Nicht nur die Kosten per reduzierter Tonne CO₂ müssten ermittelt werden, sondern ebenfalls die Kosten und Nutzen der übrigen Auswirkungen – Schadstoffe, Lärm, Verkehrsunfälle etc. Wenn also z.B. eine Maßnahme wie Tempolimit zur Verminderung der Treibhausgasemissionen bewertet wird, sollten die damit einhergehenden übrigen Effekte für die Entscheidung eine Rolle spielen.

Eine Bewertung von Politikstrategien und Instrumenten kann sinnvollerweise nur nach einer (politischen) Vorentscheidung zu dem Umfang und dem zeitlichen Verlauf der anzustrebenden Verbrauchs- bzw. CO₂-Absenkungen vorgenommen werden; diese wiederum wird nur dann fallen, wenn die wirtschaftlichen Folgen für den Automobilmarkt in der Abwägung mit ökologischen Aspekten vertretbar sind. Aus heutiger Sicht werden zwar keine Anforderungen durchsetzbar sein, die zu Absatz- und damit Beschäftigungseinbrüchen führen könnten. Andererseits wird der politische Druck in

Richtung auf wirksame Absenkungsmaßnahmen im Verkehrssektor voraussichtlich in der zweiten Hälfte dieses Jahrzehnts zunehmen, weil die Verfehlung der Klimaschutzziele dann sichtbar werden dürfte. In einem solchen Szenario könnte für einen Hersteller wie Porsche ein Risiko entstehen, wenn seitens der Politik regulative Maßnahmen ergriffen würden, die der besonderen Situation von PKW-Herstellern mit einer derartigen spezifischen Modellpalette nicht gerecht würden. In den folgenden Kapiteln werden daher Instrumente und Maßnahmenansätze daraufhin untersucht, ob sie in diesem Sinne als angemessen und fair eingestuft werden können. Ein wichtiger Maßstab zur Bewertung ist dabei die Verträglichkeit mit der besonderen Situation eines unabhängigen, relativ kleinen Herstellers.

3 Instrumente

Die politischen Instrumente sind zu differenzieren nach ordnungsrechtlichen und fiskalischen Ansätzen. Zu den fiskalischen gehören beispielsweise die Erhöhung der Mineralölsteuer – siehe Ökosteuerdiskussion – und die Umgestaltung der Kraftfahrzeugsteuer in Richtung auf eine stärkere Unterstützung CO₂-reduzierter Modelle. Weiterhin zu nennen ist das Instrument der Differenzierung der Mehrwertsteuer, ebenfalls unterstützend für ein verlagertes Marktinteresse würde eine Einführung einer Kaufsteuer (in welcher rechtlichen Form auch immer) wirken, die an den Normverbrauchswerten bzw. den CO₂-Emissionen unter Normbedingungen orientiert ist. Die aktuelle Benzinpreisdebatte könnte jedoch auch weiteren fiskalischen Schritten entgegenwirken und die politische Bereitschaft zum Einsatz anderer, insbesondere ordnungsrechtlicher Instrumente erhöhen.

Unter den hier zunächst ohne Bewertung aufgeführten, theoretisch denkbaren ordnungsrechtlichen Instrumenten sind zu nennen:

- CO₂-Grenzwerte für Neufahrzeuge in Analogie zu den Schadstoffgrenzwerten, d.h. als einheitlicher CO₂-Grenzwert für alle Fahrzeuggrößen;
- CO₂-Grenzwerte für neue Fahrzeugmodelle, die nach Fahrzeuggröße (z.B. Innenraumgröße) gestaffelt sind; in diese Kategorie gehört auch der deutsche Vorschlag gegenüber der EU, bei dem der zulässige CO₂-Ausstoß über der Fahrzeugmasse in geringerem Maße ansteigt als die Zunahme des Kraftstoffverbrauches mit der Fahrzeugmasse.
- CO₂-Grenzwerte für die Neuwagenflotten der jeweiligen Hersteller in Anlehnung an die US-CAFE-Standards;
- prozentuale Absenkungsquoten für die Flotten der jeweiligen Hersteller (vgl. NRW-Bundesratsinitiative von 1990).

Als fiskalische Instrumente wären vor allem zu nennen:

- Erhöhung der Mineralölsteuer auf C-haltige Kraftstoffe (siehe jedoch EU-Energiesteuer-Richtlinie mit anderslautendem Konzept);
- (stärkere) Differenzierung der Kraftfahrzeugsteuer nach spezifischem CO₂-Ausstoß im Fahrzyklus (vorgeschlagen wurde auch eine Staffelung nach Gewicht, dies ergäbe jedoch eine ungenauere Zielverfolgung);
- Differenzierung der Mehrwertsteuer und/oder Einführung von Kaufsteuern nach spezifischem CO₂-Ausstoß (der Weg über die MwSt würde jedoch nur die privaten Käufer betreffen);
- im Einkommensteuerrecht ergänzende Regelungen wie z.B. die Begrenzung der Absetzbarkeit auf den notwendigen Aufwand.

Kasten 3

Konkretisierung denkbarer Politikmaßnahmen

Bezugsjahr wäre beispielsweise 2005:

(Weitere) Erhöhung der Mineralölsteuer nach spezifischem CO₂-Beitrag (Beispiel: Erhöhung der Kraftstoffpreise nach heutiger Kaufkraft auf umgerechnet 4 DM je Liter)

Spreizung der Kraftfahrzeugsteuer nach Norm-CO₂-Emissionen (Beispiel: für 70 g/km DM 100 p.a., für 140 g/km DM 1000 p.a., für 210 g/km DM 10.000 p.a.)

Spreizung der Mehrwertsteuer / Einführung einer Kaufsteuer nach Norm-CO₂-Emissionen (Beispiel: für Neuwagen mit 70 g/km: 1 Prozent, mit 140 g/km 20 Prozent, mit 210 g/km 100 Prozent Aufschlag)

Einführung von prozentualen Minderungszielen je Hersteller (Beispiel: 5 Prozent Minderung des Durchschnittswertes der zugelassenen Neuwagenflotte pro Jahr)

Nicht weiter zu verfolgen sind wegen Unverträglichkeit (siehe oben 3. Bedingung):

Einführung von CO₂-Typprüfwerten für Einzelfahrzeuge (Beispiel: einheitlicher Grenzwert 140 g/km)

Einführung von CO₂-Flottengrenzwerten nach im Bezugsjahr im Inland zugelassenen Fahrzeugen eines Herstellers (Beispiel: 140 g/km)

In der politischen Praxis wird es um Paketlösungen gehen, mit denen die erwünschten Entwicklungen anzusteuern sind. Dabei scheiden gemäß den oben formulierten drei grundsätzlichen Anforderungen, vor allem hinsichtlich des dritten Aspektes der Verträglichkeit und Verhältnismäßigkeit, bereits einige Maßnahmen wie z.B. bestimmte ordnungsrechtlich vorgegebene Grenzwerte für Einzelfahrzeuge und für Flotten aus, welche insbesondere Hersteller aus dem Markt drängen würden.

Zur Verdeutlichung der oben aufgelisteten Maßnahmen wird im Kasten 3 eine – bewusst starke – Konkretisierung und Akzentuierung entworfen (ohne die einkommensteuerrechtliche Komponente, die an diesem Kontext nicht vertieft werden kann) worden.

4 Handelbare Zertifikate

Ein Sonderfall wäre die Zertifikatslösung, d.h. die Ausgabe von Emissionszertifikaten an Endnutzer oder andere Akteure der Energie- bzw. Emissionskette, die in der Gesamtheit den Zielwert der CO₂-Emissionen abdecken und unter den Akteuren handelbar sind. Mit einem solchen Instrument wäre zumindest nach der ökonomischen Theorie eine volkswirtschaftlich optimale, d.h. die kostenmäßig günstigste Verteilung der Minderungsbeiträge auf die einzelnen Verursachergruppen möglich. Die Erreichung dieses Zieles setzt allerdings voraus, dass die Transaktionskosten relativ zu den Minderungskosten gering sind und dass Kostenverzerrungen z.B. durch Externalisierung von sozialen Kosten und/oder Subventionen nicht signifikant sind.

Nachfolgend werden Überlegungen für nationale, intersektorale Lösungen vorgestellt. Die internationale Dimension, die auch in den klimadiplomatischen Aktivitäten eine Rolle spielt, wird dabei nicht behandelt. (Siehe dazu u. a. das Green Paper der EU zu Emission Trading.)

Die Umsetzung der Zertifikatslösung könnte dergestalt geschehen, dass seitens einer nationalen Behörde die gesamte zulässige Emissionsmenge z.B. an CO₂ pro Jahr festgelegt wird. Dies würde den oberen Rahmen für alle Emittenten bilden. Innerhalb dieses Rahmens kann die zulässige Emissionsmenge unter den Emittenten nach marktwirtschaftlichen Grundsätzen verteilt werden, d.h. zwischen dem emissionsverur-

sachenden Sektor Verkehr und den anderen Verursachergruppen würden Emissionsrechte gehandelt werden können. Wenn beispielsweise der Ausstoß des Verkehrs zunimmt, müssten Emissionsrechte aus den anderen Sektoren gekauft werden, die dort durch Minderungsmaßnahmen frei würden. Mit dieser Lösung werden einerseits die in den verschiedenen Sektoren unterschiedlichen Minderungskosten berücksichtigt, und andererseits wird die Zahlungsbereitschaft abgebildet. Ähnlich kann innerhalb eines Sektors (z.B. des Verkehrs) zwischen Subsektoren (etwa PKW, LKW, Flugverkehr) gehandelt werden.

Bei der praktischen Ausgestaltung dieses Konzeptes sind zahlreiche Probleme zu klären, die hier nur knapp angesprochen werden können; bisher sind in der deutschen wie der internationalen Diskussion nur die allgemeinen Vorteile des Konzeptes „Handelbare Zertifikate“ erwähnt, jedoch die praktische Ausgestaltung noch kaum vorangebracht worden. Die Anwendung des Prinzips auf CO₂ würde grundsätzlich erheblich einfacher sein als z.B. bei NO_x, da es bei CO₂ eine feste Relation zwischen Art und Menge des Energieträgers einerseits und den Emissionen andererseits gibt; man könnte also eine Bilanzierung und Verrechnung mit Hilfe der Kraftstoffmengen durchführen und benötigt keine Messeinrichtungen für die Emissionen.

Ein erstes Problem betrifft die Verrechnungsebene – sollen die zulässigen Emissionsmengen bei den Endverbrauchern („downstream“) oder bei den Produzenten bzw. Importeuren der Energieträger („upstream“) erfasst und verrechnet werden? Im ersten Fall würde jeder Autofahrer über eine zulässige Emissionsmenge verfügen, im Falle eines darüber hinausgehenden Bedarfes an Emissionsrechten müsste der Autofahrer hinzukaufen. Der Preis je Emissionseinheit würde sich praktisch an den Tankstellen bilden, und es würden Anrechtsscheine dort zu bezahlen sein. Es ist unmittelbar ersichtlich, dass dieses Vorgehen einen erheblichen zusätzlichen Aufwand für die Endverbraucher und für die Administration des Verfahrens erfordert. Daher käme eher die Upstream-Lösung in Frage, bei welcher z.B. die Importeure von Rohöl oder von Endprodukten sich im zulässigen Emissionsrahmen bewegen und ggf. CO₂-Rechte hinzukaufen müssten. Dies würde sich in den Produktkosten auswirken und sich letztlich in den Preisen an den Tankstellen niederschlagen.

Ein weiteres Problem bildet die Gestaltung der Ausgangsbedingungen, hier verdeutlicht bei der Upstream-Konzeption: Wird den Produzenten oder Importeuren der Energieträger z.B. für das Jahr 2001 eine bestimmte zulässige Emissionsmenge von vornherein zugestanden – z.B. die Emissionsmenge des Jahres 2000 abzüglich der erforderlichen Minderung von beispielsweise 2 Prozent – oder gibt es eine Verteilung der Emissionsrechte anhand einer Auktion? Im angelsächsischen Sprachgebrauch wird das erste Verfahren als „grandfathering“ bezeichnet; im Vorteil wären dann diejenigen Wirtschaftsakteure, die bereits im Markt etabliert sind. Der Marktzutritt von neuen Wettbewerbern würde erschwert, da nur diese für die gesamten Emissionsrechte erst Zertifikate kaufen müssten. Im Falle einer Verteilung aller CO₂-Zertifikate per Auktion wären etablierte und neue Akteure gleichgestellt; dies führte allerdings zu einer Erhöhung der Kosten, da auch im Umfang der bisherigen Emissionsmengen Zertifikate zu kaufen wären.

Die grundsätzlichen Vorteile des Zertifikatskonzeptes sind überzeugend: Die Einhaltung der nationalen CO₂-Zielmenge wäre sichergestellt, und die Emissionsminderungen würden dort durchgeführt, wo dies am kostengünstigsten ist. Ein weiterhin steigender CO₂-Ausstoß des Verkehrs würde dadurch möglich, dass in anderen Sektoren stärker gemindert wird; der Verkehr würde sich durch den Erwerb von CO₂-Emissionsrechten „freikaufen“, und die anderen Sektoren würden diese Finanzmittel erhalten. Dies wäre dann wirtschaftlich vorteilhaft für alle Beteiligten, wenn die Kosten für den Erwerb der Zertifikate durch die Verkehrsakteure niedriger sind als die Kosten

der Emissionsminderung und wenn andererseits die Kosten der Emissionsminderung z.B. in den stationären Sektoren niedriger sind als die Erträge aus dem Verkauf der Emissionsrechte. Insgesamt wäre eine volkswirtschaftlich optimale Erreichung des CO₂-Zieles erreicht.

Nachteilig wäre zum einen der erforderliche administrative Aufwand – bei der Upstream-Lösung dürfte sich dieser jedoch in vertretbaren Grenzen halten. Ein wesentlicherer Nachteil würde in den schwankenden Produktpreisen liegen, was die wirtschaftliche Kalkulation von Minderungsinvestitionen erschwert: Es wäre zu erwarten, dass z.B. nach einem Sommer mit gutem Wetter, wenn die PKW-Fahrleistungen überdurchschnittlich hoch ausgefallen sind, gegen Ende des Jahres eine Knappheit der Emissionszertifikate auftritt, was deren Preise hochtreiben würde. Ebenso kann nach einem milden Winter, bei dem der Verbrauch von Heizöl oder Gas unerwartet niedrig ausgefallen ist, ein Überangebot an Emissionszertifikaten zu einer Reduzierung der Brennstoffkosten führen. Insgesamt würden die Energiepreise stärker schwanken, was – wie oben angeführt – die Planbarkeit von Maßnahmen beeinträchtigt.

Für den PKW-Sektor hätte die Downstream-Konzeption einer Zertifikatslösung deutliche Kostenvorteile, da die PKW bereits im Verhältnis z.B. zu dem Straßengüter- und dem Luftverkehr einen günstigeren Emissionsverlauf haben; die Zusatzkosten für CO₂-Zertifikate wären geringer. Im LKW- und im Luftverkehr müssten dagegen stärker Emissionszertifikate zugekauft werden, was dort die Kosten stärker erhöhen würde. (Das Problem des für LKW und PKW gleichen Dieselmotors wäre allerdings hier anzuführen.) Bei einer Upstream-Konzeption würden sich – abhängig von dem Regelungsansatz (grandfathering oder Auktion) und der einzelwirtschaftlichen Strategie der Energieproduzenten und der Importeure – Kerosin und Dieselmotor stärker verteuern als Benzin, da sich der Gesamtabsatz von Benzin und damit der CO₂-Ausstoß aus dem Benzineinsatz im Zeitverlauf bereits günstiger darstellt. Es ergäbe sich auch hier eine erwünschte Kostendifferenzierung, wobei die Subsektoren mit ungünstigerem Emissionstrend stärker belastet würden als der PKW-Bereich.

Am Ende dieses Exkurses zu dem neuen Instrument des Zertifikatshandels wäre noch die verkehrs- und verteilungspolitisch sehr interessante Möglichkeit zu erwähnen, dass (im Downstream-Konzept) CO₂-Zertifikate pro Kopf der Bevölkerung verteilt werden; Nicht-Autofahrer verfügten damit über CO₂-Emissionsrechte, was zusätzliches Einkommen generieren könnte.

An dieser Stelle kann die weitere theoretische Möglichkeit einer Verrechnung von Quellen und Senken, also von Emissionsrechten z.B. gegen Aufforstungsmaßnahmen, nicht vertieft behandelt werden. Aus Klimawirkungs- und Klimapolitikssicht ist darauf in Abschnitt 1.4 eingegangen worden. Bei einer Einbeziehung in ein Konzept handelbarer Zertifikate würde vor allem die Preisbildung betroffen sein; die grundsätzlichen Anmerkungen zu der Quellenseite gelten auch in dem Fall.

5 Konsequenzen der Maßnahmenstrategien für den PKW-Markt

Aufgrund der Tatsache, dass die Zertifikatskonzeption als neues Instrument noch einer umfassenden Durcharbeitung bedarf, die hier nur ansatzweise begonnen werden konnte, werden im Folgenden nur die Auswirkungen der konventionellen Instrumente betrachtet.

Einige grundsätzliche Konsequenzen der Anwendung der genannten Maßnahmenstrategien und Instrumente für den Automobilmarkt in Stichworten. Für alle Maßnahmen gilt natürlich, dass die Ausprägung der Maßnahme in Form der Höhe der Kostenbelastung und der Grenzwerte das Ausmaß der Reaktionen bestimmt:

- *Erhöhung der Mineralölsteuer bzw. Ökosteuer:* Die Verteuerung von Otto- und Dieselmotorkraftstoff – die als Energieträger im Verkehrssektor weiterhin dominieren werden – wird zu einer Reduzierung der PKW-Kilometer des Bestandes (hier vor allem der von einkommensschwächeren Gruppen gefahrenen älteren PKW) beitragen. Ohne eine Rückerstattung des erhöhten Steueraufkommens an die PKW-Halter würde diesem Personenkreis Kaufkraft entzogen, was sich in einer generellen Zurückhaltung am Neuwagenmarkt ausdrücken dürfte. Gleichzeitig verschiebt sich die Nachfrage zu Modellen mit geringerem CO₂-Ausstoß, d.h. Kraftstoffverbrauch. Eine gezielt auf CO₂ abzielende Mineralöl- bzw. Ökosteuer müsste den Dieselmotorkraftstoff je Liter stärker belasten – eine Erhöhung des Preises je Liter mindestens auf das Niveau von Ottomotorkraftstoff wäre die Folge. (Hier würden sich allerdings noch weitere Aspekte wie die Produktionskosten oder differenzierte Steuersätze je nach Schwefelgehalt im Kraftstoff niederschlagen.) Eine Rückerstattung des Aufkommens an den Personenkreis der PKW-Halter (etwa durch gesenkte MwSt für sparsame Modelle) dürfte die Kaufzurückhaltung insgesamt mindestens ausgleichen, bei forcierter Verlagerung der Nachfrage hin zu CO₂-günstigeren Modellen.
- *Differenzierung der Kraftfahrzeugsteuer nach spezifischem CO₂-Ausstoß im Fahrzyklus:* Eine in der Gesamtbilanz ausgeglichene Reduzierung der Kraftfahrzeugsteuer (Reduzierung für CO₂-günstige und Erhöhung für CO₂-ungünstigere Fahrzeugmodelle) könnte das Marktvolumen insgesamt unbeeinflusst lassen. Es könnte sogar eine Stärkung des Neuwagenabsatzes davon ausgehen, dass CO₂-ungünstigere Modelle im Bestand stärker belastet werden. Je nach Ausprägung der Maßnahme, d.h. dem Umfang der steuerlichen Mehrbelastung für die CO₂-ungünstigeren Modelle kommt es zu Absatzproblemen im oberen Marktsegment – allerdings gedämpft durch den Umstand, dass dort der Anteil der Firmenfahrzeuge sehr hoch ist und ebenfalls die Nachfrageelastizität bei Kunden mit höherem Einkommen geringere Marktreaktionen bewirken dürfte als im Segment der niedrigeren Einkommen. (Das Problem der steuerlichen Absetzbarkeit würde ggf. ein besonderes Handlungsfeld eröffnen.)
- *Einführung von Kaufsteuern bzw. Differenzierung der MwSt nach dem spezifischen CO₂-Ausstoß im Fahrzyklus:* Eine am Neuwagenkauf ansetzende Abgabendifferenzierung würde die sparsameren Modelle preisgünstiger stellen. Dadurch sowie durch die Verteuerung der Modelle mit höheren CO₂-Emissionen könnte sich die Marktnachfrage deutlich verschieben und die Ersatzbeschaffung im unteren Segment beleben. Bei Modellen mit hohem Energieverbrauch wäre dagegen – mit den o. g. Modifikationen hinsichtlich der Nachfrageelastizitäten – mit Kaufzurückhaltung zu rechnen. Bei der Instrumentierung über die Mehrwertsteuer ist zu bedenken, dass nur private Käufer davon betroffen sind, nicht jedoch Firmenfahrzeuge.
- *Prozentuale Minderungsziele je Hersteller:* Bei diesem Maßnahmenansatz würde ein prozentualer Minderungspfad hinsichtlich der durchschnittlichen spezifischen CO₂-Emissionen (gemessen im Fahrzyklus) der in Verkehr gebrachten PKW eines Herstellers vorgegeben. Der mittlere Ausstoß beispielsweise im Ausgangsjahr 2000 würde zu 100 Prozent gesetzt; in den Folgejahren müsste ein jeweils um x Prozent niedrigerer Wert erreicht werden. (Beispiel siehe Kasten in Abschnitt 6.3: 2001 Absenkung auf 95 Prozent des Ausgangswertes, 2002 auf 90 Prozent des Ausgangswertes etc.) Mit dieser Anforderung würde dem Umstand Rechnung getragen, dass die Modellpaletten der Hersteller unterschiedlich sind und auch weiterhin bleiben können; erforderlich wäre im Falle der Beibehaltung des jeweiligen Modellspektrums eine Fortentwicklung des Standes der Effizienztechnik in allen Modellkategorien. Aus gesellschaftlicher und aus ökologischer Sicht würde diese Regelungs-

strategie dem Umstand Rechnung tragen, dass es sich bei der Herausforderung Klimaschutz um eine Gesamtaufgabe handelt, die nur dann Akzeptanz findet, wenn sie dem gesellschaftlichen Grundverständnis wie den ökologischen Anforderungen entspricht: Dem gesellschaftlichen Trend der Ausdifferenzierung von Lebensstilen würde entsprochen und ebenfalls der Tatsache, dass es um die Gesamtemissionen geht und nicht um die Emissionen einzelner Modelle.

Zu dem im obigen Kasten bereits als unverträglich ausgeschiedenen ordnungsrechtlichen Ansätzen ist Folgendes auszuführen:

- *CO₂-Grenzwerte für einzelne Modelle:* Typprüfwerte für Einzelfahrzeuge würden in diesem Ansatz entweder analog zu den Schadstoffgrenzwerten im Fahrzyklus einheitlich für alle Fahrzeuggrößen festgelegt oder nach Fahrzeugkategorien (Fahrzeuggrößen) differenziert. Im erstgenannten Fall würden z.T. extreme Minderungsanstrengungen bei großen, leistungsstarken verbrauchsungünstigen Modellen erforderlich, wogegen im Segment mit CO₂-Emissionen unterhalb der Grenze keine Veränderungen impliziert würden. Aus heutiger Sicht wäre eine solche Regelungsstrategie unwahrscheinlich, da sie auf eine Vereinheitlichung des Modellangebotes in Richtung auf Kleinwagen-, Kompakt- und Mittelklasse hinauslaufen würde. Neben dem Aspekt der nicht gegebenen Verhältnismäßigkeit wären sowohl die volkswirtschaftliche als auch die ökologische Effizienz einer solchen Strategie fraglich: Ein niedriger Grenzwert dürfte dazu führen, dass Hersteller großer Modelle erhebliche Absatzprobleme bekämen – die Kunden würden auf Ersatzbeschaffungen verzichten und ihre Fahrzeuge einfach weiterhin benutzen –, ein hoher Grenzwert wiederum würde bis hin zur Mittelklasse keine effektive Reduzierung der durchschnittlichen CO₂-Emissionen bewirken.
- *CO₂-Flottengrenzwerte:* Grenzwerte für den im Fahrzyklus gemessenen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch (und damit indirekt den CO₂-Ausstoß) der in einem Bezugsjahr zugelassenen Fahrzeuge sind in den USA in den siebziger Jahren eingeführt worden (sog. CAFE-Standards); in den Anfangsjahren dieser Maßnahme hat sich im Markt eine deutliche Verschiebung hin zu sparsameren Modellen vollzogen. Aufgrund des Umstandes, dass die Grenzwerte nicht adäquat nach dem technischen Fortschritt angepasst wurden sowie wegen der Ausblendung der schwereren Pick-up- und Van-Modelle – die vom Markt in zunehmenden Maße präferiert werden –, hat der Minderungseffekt abgenommen. Der positive Effekt in den ersten Jahren ist vor dem Hintergrund des damals extrem ungünstigen Kraftstoffverbrauches im US-Markt zu sehen. Gegenüber dem vorgenannten Ansatz mit einheitlichen modellspezifischen Grenzwerten ergibt sich für die Hersteller mit einem breiten Modellprogramm eine gewisse Flexibilität in der Erfüllung der Anforderungen. Für Hersteller mit ausschließlich größeren oder aus anderen Gründen CO₂-spezifisch ungünstigeren Modellen würde diese Maßnahme jedoch erhebliche Probleme aufwerfen, da sie CO₂-Emissionen der verbrauchsungünstigeren Modelle nicht mit dem Absatz kleiner Sparkonzepte ausgleichen können. Da die Emissionsbeiträge der von den betroffenen Herstellern hergestellten Fahrzeuge nicht erheblich sind, wäre das Gebot der Verhältnismäßigkeit nicht erfüllt. Eine wirtschafts- und beschäftigungspolitisch unerwünschte Folge wäre, dass Hersteller von ausschließlich Oberklassefahrzeugen oder leistungsstarken Sportwagen entweder gezwungen würden, ihre Unabhängigkeit aufzugeben oder die Produktion einstellen müssten. Dies wäre in umfassender Bewertung nicht zu rechtfertigen.

Die obige Diskussion der Maßnahmenoptionen im PKW-Subsektor hat bereits deutlich gemacht, dass unter den ordnungsrechtlichen Instrumenten das Modell relativer

Absenkungspfade nichtdiskriminierend im Hinblick auf die Produktionsstrukturen ist. Einheitliche Grenzwerte, auch für Flotten nach dem US-Beispiel, würden dagegen bestimmte Hersteller ungleich stärker belasten – bis hin zu der Gefährdung der Existenz eines auf große Modelle oder auf leistungsstarke Sportwagen spezialisierten Unternehmens. Da der Emissionsbeitrag derartiger, in relativ kleinen Stückzahlen verkaufter Modelle nicht erheblich ist, wäre diese Maßnahme weder wirtschaftspolitisch noch rechtlich (nach dem grundgesetzlichen Gebot der Verhältnismäßigkeit) vertretbar.

Dagegen sind die fiskalischen Ansätze grundsätzlich besser geeignet, eine maximale Gestaltungsfreiheit der Anbieter wie auch Entscheidungsfreiheit der Kunden zu erhalten. Allerdings stellte sich die Frage der sozialpolitischen Verträglichkeit, wenn es für einkommensschwache Verkehrsnutzer keine Verhaltensoptionen geben würde, auf die preislichen Mehrbelastungen zu reagieren.

Eine abschließende Empfehlung für eine bestimmte Maßnahmenkonzeption soll an dieser Stelle nicht gegeben werden. In der Praxis würde jede Minderungsstrategie zweckmäßigerweise aus einem Maßnahmenmix bestehen, gebildet aus fiskalischen wie aus ordnungsrechtlichen Elementen. Ordnungsrechtliche Ansätze wie das Konzept „Prozentuale Minderungsziele je Hersteller“ könnten pragmatisch dergestalt mit fiskalischen Elementen unterlegt werden, dass bei Nicht-Einhaltung beispielsweise ökonomische Mechanismen greifen: Je nach Umfang der Zielverfehlung könnten Abgaben in einen Klimafond eingezahlt werden oder es könnten in Abwandlung des oben erläuterten Zertifikatskonzeptes Emissionsrechte durch einen Hersteller von einem anderen erworben werden. Den ökonomischen Rahmen könnte eine langfristig festgelegte Öko-steuer-Strategie für C-haltige Energieträger bilden.

Schlussbetrachtung

Die hier geführte Maßnahmendiskussion steht in einem klimapolitisch gegenwärtig diffusen Umfeld: Die Klimakonferenz in Den Haag (COP 6) in Oktober 2000 hat es nicht erreicht, die Kyoto-Vereinbarungen in Richtung auf operationable Politik weiter zu entwickeln. Die Spannungen zwischen den klimapolitisch aktiven Staaten, insbesondere der Europäischen Union, und den Vereinigten Staaten haben sich weiter verschärft. Es ist offen, in welcher Richtung sich politische Aktivitäten entwickeln werden: Zum einen wäre es möglich, dass die EU und weitere aktive Partner auch ohne die USA die Kyoto-Ziele umsetzen und darüber hinausgehende Ziele vorbereiten; die eigentlichen Herausforderungen liegen ja nach den Kyoto-Zielen. Sie sind gekennzeichnet von mittel- und langfristigen Minderungsquoten von 50 Prozent und mehr, die tiefgreifende Technikinnovationen und darüber hinaus strukturelle Veränderungen in allen Emissionssektoren erfordern.

Hinsichtlich der nationalen Zielsetzungen gilt heute praktisch ein (wenngleich nicht so bezeichnetes) sektorübergreifendes Bubble-Konzept, d.h. bewertet werden die Gesamtemissionen, nicht jedoch die Emissionen der einzelnen Sektoren. Daneben gibt es zwar innersektorale Maßnahmendiskussionen und neuerdings seitens der Bundesregierung auch innersektorale Reduktionsziele gegenüber dem Trend, ohne dass jedoch die unterschiedlichen Trends und Maßnahmen in den verschiedenen Sektoren problematisiert werden. Ebenfalls sind die Modalitäten sektorübergreifender Ausgleichsprozesse ungeklärt, wie dies an sich zu einem – gesamtwirtschaftlich durchaus vorteilhaften – Bubble-Konzept gehört.

Da der Verkehrssektor in internationaler wie in nationaler Betrachtung nicht im Selbstlauf proportionalen Minderungsvorstellungen entspricht bzw. auf absehbare Zeit auch nicht entsprechen wird, dürfte die Diskussion um spezifische Minderungsstrategien für diesen Sektor auf längere Zeit anhalten. Es besteht ein breiter Konsens darüber, dass das Emissionswachstum des Verkehrs ein Klimaproblem darstellt, das mit Maßnahmen zu adressieren ist.

Dies gilt auch unabhängig von einem formalen In-Kraft-Treten des Kyoto-Protokolls (d.h. wenn nach Ratifizierung durch genügend Staaten das CO₂-Quorum erreicht werden sollte); zumindest in der EU dürfte der klimapolitische Minderungskurs fortgesetzt werden. Für den Fall – der im Moment wenig wahrscheinlich ist –, dass die USA von ihrer Blockadehaltung hinsichtlich der Minderung an den Quellen abgehen und doch noch Minderungsschritte akzeptieren, dürfte sich der Grundkonsens in Europa zu der Notwendigkeit weiterer Maßnahmenstrategien im Verkehrsbereich eher noch verstärken. Dabei spielen sowohl die mit Innovationen verbundenen Marktchancen eine Rolle als auch eine stärkere Sensibilisierung der europäischen Bevölkerung gegenüber ökologischen Risiken.

In kurzfristiger Betrachtung wird in dem Maß, in dem das Zieljahr 2005 der deutschen Minderungsverpflichtungen und die Zieljahre 2008 bis 2012 der Kyoto-Vereinbarungen näher rücken, der Druck in Richtung auf verstärkte Emissionsminderungen auch im Verkehrsbereich zunehmen. Trotz der im Vergleich zu den anderen Verkehrsträgern relativ günstigeren Entwicklung dürfte sich damit auch der Druck in Richtung auf den PKW-Markt verstärken, um die ungünstigeren Trends vor allem im Straßengüterverkehr und im Luftverkehr (zumindest teilweise) zu kompensieren.

Unter der Prämisse, dass politisch eine forcierte Absenkung des Kraftstoffverbrauches der PKW gewollt wird, wären grundsätzlich die fiskalischen Ansätze aus Gründen der hohen Flexibilität für Hersteller und Kunden zu bevorzugen. Der Pfad einer stufenweisen Erhöhung der Abgaben auf Kraftstoffe (Mineralöl-/Ökosteuer) könnte durch

fiskalische Anreizstrukturen in den Bereichen Kfz-Steuer und Kauf-/Mehrwertsteuer ergänzt werden. Unter den ordnungsrechtlichen Instrumenten könnte ggf. allein das Konzept der relativen Flottenverbrauchsabsenkung die monetären Ansätze ergänzen, ohne dass kleine Hersteller mit heute verbrauchsmäßig ungünstigen Modellpaletten diskriminiert würden.

Die üblicherweise diskutierten ordnungsrechtlichen Konzepte zur Begrenzung des Kraftstoffverbrauches bzw. des Kohlendioxid-Ausstoßes von PKW z.B. nach dem Muster der flottenspezifischen CAFE-Standards würden die Automobilhersteller sehr unterschiedlich treffen. Hersteller mit einem hohen Anteil an kleinen und damit verbrauchsgünstigen PKW wären von einem solchen Regelungsansatz weniger stark betroffen als z.B. Hersteller im Bereich der Oberklasse. Die Firma Porsche als Hersteller von Sportwagen im oberen Marktsegment würde von einer Flottenverbrauchsregelung nach US-amerikanischem Muster einschneidend betroffen sein, da kompensatorisch wirkende Fahrzeugmodelle mit spezifisch günstigem Verbrauch im Angebot fehlen. Überdies wäre die Firma Porsche als unabhängiger Hersteller auch nicht in der Lage, innerhalb eines Konzerns derartige Ausgleichsvorgänge zu organisieren, wie dies beispielsweise der Fiat-Konzern mit seinem Sportwagenproduzenten Ferrari durchführen könnte. Ein aus der Sicht eines Herstellers mit einem sog. Vollprogramm möglicherweise vertretbarer Regelungsansatz wäre somit für einen Hersteller wie Porsche eine ernsthafte Bedrohung.

Für das Unternehmen Porsche ist also von überragender Bedeutung, dass die klimapolitischen Handlungszwänge nicht zu Maßnahmen führen, welche die wirtschaftliche Position schwächen.

In dem vorliegenden Bericht sind zunächst die Beiträge des PKW-Verkehrs dahingehend in den Gesamtkontext der Klimaproblematik eingeordnet worden, dass sein Stellenwert deutlich wird: Von den PKW geht ein zwar wichtiger, aber gleichwohl im Trend nicht herausragend dramatischer Einfluss auf die Klimabilanz aus; diese Attribute sind eher dem Straßengüterverkehr und dem Luftverkehr zuzuordnen. Gleichwohl ist in einer Gesamtabwägung mit den anderen Bereichen des Verkehrs deutlich gemacht worden, dass im PKW-Verkehr verstärkte politische Aktivitäten zu erwarten sind, damit die nationalen und internationalen Ziele für den Klimaschutz erreicht werden. Nicht nur aus der Sicht der PKW-Hersteller, sondern auch von den stationären Emittenten wie auch in unabhängiger wissenschaftlicher Betrachtung ist das bisherige politische Handlungsdefizit im Straßengüterverkehr und im Luftverkehr problematisch, da die dort verursachten Emissionsanstiege von anderen kompensiert werden müssen.

In dem vorliegenden Bericht sind Argumente entwickelt und Maßnahmenvorschläge diskutiert worden, die eine faire und für das Unternehmen Porsche akzeptable Klimaschutzstrategie auf nationaler und EU-Ebene befördern können. Die Bewertung jeglicher Maßnahmen und Instrumente hat sich an den Maßstäben der Zielerreichung, der gesamtwirtschaftlichen Effizienz und der einzelwirtschaftlichen Verträglichkeit sowie dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu orientieren. Anhand dieser Maßstäbe scheiden Instrumente aus, welche einerseits die Existenz des Unternehmens gefährden würden und andererseits in Bezug auf die damit adressierten Emissionsbeiträge unverhältnismäßig wären. Unter den theoretisch denkbaren ordnungsrechtlichen Instrumenten sehen die Autoren allein das Konzept herstellerspezifischer prozentualer Minderungspfade als geeignet an. Grundlage jeder Klimaschutzstrategie sollte dazu eine Gestaltung von fiskalischen Rahmenbedingungen sein, welche bei größtmöglicher Flexibilität für Kunden und Hersteller eine langfristige und nachhaltige Orientierung hin zu einem klimaverträglichen Verkehr bewirkt.

Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht wären sektorübergreifend handelbare Zertifikate am besten geeignet, die CO₂-Minderung dort zu erreichen, wo sie am kostengünstigsten realisiert werden kann. Dies Konzept könnte aber allenfalls mittelfristig implementiert werden, da eine große Zahl von theoretischen und praktischen Problemen noch zu lösen sind. Ein Zertifikatshandel für das Treibhausgas CO₂ ohne vorherige Internalisierung der sektorspezifischen externen Effekte (für den Verkehr z.B. lokal wirkende Schadstoffe, Lärm, Unfälle) könnte hinsichtlich der nichtklimatischen Belastungen des Verkehrs kontraproduktiv wirken. Die Bewertung der externen Effekte wiederum wird in erheblichem Umfang gesellschaftlich bestimmt; dies gilt auch für Abwägungen zwischen ökologischen, sozialen und ökonomischen Interessen. Letztlich werden somit alle Minderungsstrategien starke Elemente politisch-gesellschaftlicher Präferenzen aufweisen, die einer wissenschaftlichen Bewertung nur begrenzt zugänglich sind.

Literatur

- Agrawala, S. (1997): Explaining the Evolution of the IPCC Structure and Process, Belfer Center for Science & International Affairs, Harvard University, Cambridge, MA.
- BMU (2000): Zwischenbericht zum Klimaschutzprogramm der Bundesregierung, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, www.bmu.de/sachthemen/energie/maco2_zwischen.html
- BMV (2000): Verkehrsbericht 2000. Integrierte Verkehrspolitik: Unser Konzept für eine mobile Zukunft. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin. November 2000
- Bodansky, Daniel (1994): Prologue to the Climate Change Convention, in: Mintzer, Irving M., J.A. Leonhard (eds.) (1994) Negotiating Climate Change: The inside Story of the Rio Convention, Cambridge University Press and Stockholm Environment Institute, Cambridge
- Corbyn, Piers; Manchour Golipour (1996): What is Global Temperature ? The Inadequacy of Estimation Methods, in: ESEF (1996): The Global Warming Debate, Bourne Press Limited Bournemouth
- European Environment Agency (2000): Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990–1998, Technical Report No 41, Kopenhagen
- Image (1999): Image 2.1 Model, CD from RIVM
- IPCC (1994): Climate Change: Radiative Forcing and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios, IPCC, Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC (1996): Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC (1999): Aviation and the global Atmosphere, Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC (2000): Special Report: Emission Scenarios, Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis, Draft Summary for Policymakers, IPCC working group I, www.ipcc.ch
- Janssen, Marco (1998): Modelling Global Change – The Art of Integrated Assessment Modeling, Edward Elgar, Cheltenham, UK
- Hadley Centre (2000): www.meto.govt.uk/research/hadleycentre/images/hadcrug.gif based on: Jones, P.D., New, M., Parker, D.E., Martin, S. and Rigor, I.G. (1999) Surface air temperature and its changes over the past 150 years, Reviews of Geophysics, Vol. 37, pp 173–199
- Langrock, Thomas; Michaelowa, Axel; Greiner, Sandra (2000): Defining Investment Additionality for CDM-Projects – Practical Approaches, HWWA Discussion Paper 106, Hamburg: HWWA
- Nikolsky, Genrik (1996): Variations in the Energy Output , in: ESEF (1996). The Global Warming Debate, Bourne Press Limited Bournemouth.
- Pronk, Jan (2000): Note by the President of COP 6, Paper distributed amongst the participants of COP 6, The Hague, 23.11.00
- Roedel, W. (1992): Physik unserer Umwelt: Die Atmosphäre, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg.
- Schäfers, Manfred (2000): Klimawandel, Frankfurter Allgemeine Zeitung, 27.11.00, S. 1
- Schallaböck, K. O.; Petersen, R. (1999): Countdown für den Klimaschutz. Wohin steuert der Verkehr?, ZGD Zeitgemäßer Druck GmbH, Berlin
- Segelstad, Tom V. (1996): The distribution of CO₂ between Atmosphere, Hydrosphere, and Lithosphere; Minimal Influence from Anthropogenic CO₂ on the Global Greenhouse Effect, in: ESEF (1996). The Global Warming Debate, Bourne Press Limited Bournemouth
- Seiler, W.; Hahn, J. (1998): Der natürliche und anthropogene Treibhauseffekt – Veränderung der Zusammensetzung der Atmosphäre durch menschliche Aktivitäten, in: Lozan, J., Graßl, H., Hupfer, P. (Hrsg.) (1998). Warnsignal Klima: Wissenschaftliche Fakten, Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg
- UNFCCC (1999): Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, Sekretariat für Klimaänderungen, Bonn
- UNFCCC (2000): Greenhouse Gas Inventory Data, www.unfccc.de
- Watson, Robert T. (2000): Presentation of Robert T. Watson – Chair of the IPCC, Paper distributed amongst the participants of COP 6, The Hague

- WBGU: G. Petschel-Held, H.J. Schellnhuber: The tolerable windows approach to climate control: Optimization, risks and perspectives, in F.L. Toth (ed.): Cost-Benefit Analyses of Climate Change, The broader Perspectives, Birkhäuser, Basel, 1998
- Wittke, Franz; Ziesing, Hans-Joachim: Stagnierender Primärenergieverbrauch im Jahre 2000, in: DIW-Wochenbericht 68, 5 (=5/2001) v. 01.02.2001, S. 78–90
- Ziesing, Hans-Joachim: Höhere CO₂-Emissionen im Jahre 2000, in: DIW-Wochenbericht 68, 6 (=6/2001) v. 08.02.2001, S. 91–99

Anmerkungen

- 1 Diese Angabe bezieht sich auf das Jahr 1992.
- 2 Analog, dazu existieren Zyklen für die anderen Spurengase. Folglich gelten die am Beispiel des Kohlenstoffzyklusses hergeleiteten Begriffe auch für die der anderen Spurengase.
- 3 Nach dieser Definition, die auch in der Klimarahmenkonvention festgeschrieben ist (Artikel 1), sind Quellen und Senken Ströme. Damit ist ein Wald keine Senke, ein wachsender Wald jedoch schon. Auch ist der Vulkan keine Quelle, der Vulkanausbruch, im Gegensatz dazu, ist eine Quelle.
- 4 Zur optischen Verdeutlichung wird vom Hadley Centre als Bezugslinie jeweils der Durchschnitt der letzten drei abgeschlossenen Jahrzehnte gewählt; bei den der ersten Klima-Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages zugrunde gelegten Darstellungen war dies noch der Durchschnitt von 1951–1980, der eine etwas niedrigere Temperatur repräsentierte. Auf die relativen Abstände der Einzeljahreswerte und die Tendenz in der Entwicklung hat dies naturgemäß keinen Einfluss.
- 5 Tatsächlich ist es im Zusammenhang mit den Wasserdampfemissionen des Flugverkehrs sinnvoll, nach einem GWP für Wasserdampf zu fragen. Die Praktikabilität eines solchen Konzeptes wird jedoch noch erforscht.
- 6 Praktisch wird die Entwicklung der Menschheit durch Annahmen über bestimmte Parameter (Bevölkerungswachstum, Energieintensität, Wachstum des BSP, Technologiewandel ...) modelliert.
- 7 Je nach Betrachtungsweise liegt der Schlüssel hierzu in einer stark verminderten Energieintensität, schnellerem Technologiewandel oder der sozio-ökonomischen Entwicklung.
- 8 Abgekürzt UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird dieses Übereinkommen durch das Wort „Klimarahmenkonvention“ bezeichnet.
- 9 Annex I besteht aus einer Auflistung von insgesamt 35 Staaten (OECD-Länder plus die Staaten Osteuropas) und der Europäischen Gemeinschaft als eigenständige Vertragspartei.
- 10 In Annex II sind 24 Staaten und die Europäische Gemeinschaft aufgelistet.
- 11 Die Verhandlungsgeschichte des Kyoto-Protokolls ist genau nachgezeichnet in Oberthür/Ott (2000).
- 12 Annex B des Kyoto-Protokolls regelt, welche Annex I-Staaten quantifizierte Verpflichtungen übernehmen müssen. Diese Anlage ist nicht ganz deckungsgleich mit Annex I der Klimarahmenkonvention.
- 13 Dieser Annex listet die zu erfassenden Quellen entsprechend den Kategorien des IPCC auf: z.B. Fossil Fuel Combustion, Transport, Fugitive Gas usw.
- 14 Der Annex B beinhaltet im Wesentlichen alle Annex I-Länder außer Weißrussland und der Türkei.
- 15 Dieser Artikel regelt, dass Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung in die Berechnung der Emissionsrechte einfließen sollen.
- 16 Dieser Artikel erlaubt die Definition weiterer Senkenprojekte, die in die Berechnung der Emissionsrechte einfließen können.
- 17 In der Sprache der Handelnden heißt dieses Abkommen auch EU-bubble oder EU burden sharing.
- 18 Erst wenn mindestens 55 Vertragsparteien das Protokoll ratifizieren und unter diesen ratifizierenden Parteien so viele Industrieländer sind, dass die Summe ihrer Kohlendioxidemissionen im Jahr 1990 mindesten 55 Prozent der Kohlendioxidemissionen aller Industrieländer im Jahr 1990 beträgt, tritt das Protokoll in Kraft.
- 19 Subsidiary Body on Scientific and Technological Advise (SBSTA) und Subsidiary Body for Implementation (SBI)
- 20 www.unfccc.de
- 21 Diese werden laufend aktualisiert, so dass sich geringfügige Abweichungen von den hier zitierten Zahlen ergeben können.
- 22 Vergleiche European Environment Agency 2000
- 23 Diese Kategorie beinhaltet den innerstaatlichen Bahn-, Wasser-, Luft- und Straßenverkehr, nicht jedoch den Luft- und Wasserverkehr innerhalb der EU.



Wuppertal Institut für
Klima, Umwelt, Energie GmbH
Postfach 10 0480
42004 Wuppertal
www.wupperinst.org

ISBN 3-929944-42-1